

# СИСТЕМА ШУМОПОНИЖЕНИЯ dbx – ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

С. АГЕЕВ, г. Москва

**В предлагаемой статье автором рассмотрены особенности устройства, работы и применения одной из самых эффективных систем шумопоножения — компандерной системы dbx, в свое время конкурировавшей с известной системой Dolby-A. Более того, на основе тщательного анализа недостатков подобных систем им создана компандерная СШП, практически лишенная их основного недостатка – заметного искажения фронтов музыкальных сигналов. С этой новой оригинальной разработкой высококвалифицированного инженера редакция планирует познакомить читателей в ближайших номерах «Радио».**

Без сомнения, многим читателям журнала хорошо известно имя Рэя Милтона Долби, хотя бы по названиям наиболее распространенных систем шумопоножения — Dolby-B, Dolby-C и Dolby-S, разработанных для применения в бытовой технике. Им также были созданы компандеры Dolby-A (первая коммерческая система шумопоножения) и Dolby-SR для профессионального применения. Достаточно сказать, что слово «долби» порой используется в самом общем смысле для обозначения систем шумопоножения вообще, а не конкретного типа.

К настоящему времени в профессиональной звукозаписи, в связи с переходом на цифровую технику для многоканальной записи и вытеснением аналоговых магнитофонов, системы шумопоножения потеряли былое значение. Единственная система шумопоножения, которая сейчас находит применение в высококачественной аналоговой технике, — это Dolby-S/SR.

Однако четверть века назад ситуация была иной. Фирма Рэя Долби только «вставала на ноги» со своей четырехполосной системой<sup>1</sup>, которая позволяла снизить шум всего на 10 дБ. Dolby была достаточно сложна, дорога (\$300 за канал), а самое главное, требовала прецизионной регулировки магнитофонов ( $\pm 0,2...0,3$  дБ). Такое могли себе позволить только первоклассные студии (London-Decca, Deutsche Grammophon Gesellschaft и т. п.)<sup>2</sup>. Не случайно опытная эксплуатация системы Dolby началась именно на студии Децца в Англии, а не в США.

Вместе с тем было много мест, где наряду с меньшей критичностью к точности настройки аппаратуры требовалось шумопоножение большее, чем на 10 дБ.

Первый успех в решении этой задачи выпал на долю американца Дэвида Блэкмера. Созданная им в 1971 г. компандерная система шумопоножения dbx (U.S. Pat № 3,789,143)<sup>3</sup> была проста в употреблении, недорога и обеспечивала шумопоно-

жение до 30 дБ. Но главным ее достоинством оказалась не критичность к разбросу коэффициентов передачи и АЧХ каналов записи — воспроизведения.

Стоит напомнить, что большинство предложенных к тому времени систем шумопоножения (и даже более поздние) оказались малопригодны к практическому использованию. Основными их недостатками были либо чрезмерная чувствительность к дефектам носителя записи (магнитных или кинолент), либо внесение неприемлемых искажений в звучание.

Долби удалось выделиться на этом фоне ценой применения сложного многополосного устройства, заметность искажений была снижена за счет ограничения его регулирования (0...10 дБ в диапазоне уровней входных сигналов от -40 до -20 дБ). Естественно, подавление шумов при этом получилось небольшим.

Блэкмер же рассудил иначе. Коль скоро критичность к неравномерности АЧХ в системе Dolby вызвана разделением спектра сигнала на полосы, следовательно, компандер надо сделать широкополосным, чтобы им обрабатывал сразу всю полосу частот<sup>4</sup>. А поскольку критичность к согласованию уровней в системе Dolby вызвана неодинаковой обработкой сигналов с разными уровнями, то компандер должен быть устроен таким образом, чтобы алгоритм его работы не зависел от уровня сигнала<sup>5</sup>.

Исходя из этого и была спроектирована система шумопоножения, положившая начало фирме dbx (пишется строчными буквами) — от David Blacmer Excellence (по другим данным, Experience). Сейчас эта фирма — один из «грандов» на рынке студийного оборудования. Кроме того, разработанная Блэкмером удачная конструкция VCA (voltage-controlled amplifier — управляемый напряжением усилитель — УНУ) по сей день используется в большинстве студийных приборов обработки звука.

<sup>4</sup> Такое решение тоже не идеально: применение многополосного компандера позволяет заметно уменьшить интермодуляционные искажения и модуляционный шум, являющийся только в присутствии сигнала. Возможности широкополосного компандера в этом отношении довольно ограничены.

<sup>5</sup> А вот это оправдано почти всегда. Не случайно самой удачной системой шумопоножения, наряду с Dolby-SR, на взгляд автора статьи, явился многополосный компандер Telcom, в котором реализован этот принцип. Недаром Deutsche Grammophon предпочитает Telcom Dolby, несмотря на то что соответствующее оборудование давно снято с выпуска.

Блок-схема основного варианта системы шумопоножения dbx приведена на рисунке, заимствованном из фирменных материалов. Шумоподаватель состоит из двух частей: основного канала, через который проходит обрабатываемый сигнал, и канала управления.

Входной сигнал при записи, пройдя через входной полосовой фильтр ПФ, формирует частотных предискажений основного канала (корректор 1) и управляемый напряжением усилитель (УНУ), поступает одновременно на выход устройства в целом (т. е. на вход усилителя записи) и на вход канала управления.

Канал управления состоит из входного частотного корректора (корректор 2), расщепителя фазы, двух среднеквадратичных выпрямителей, работающих на общий сглаживающий конденсатор, и не показанного на схеме буфера (повторителя) канала управления, с которого управляющее напряжение поступает на УНУ. Таким образом, при увеличении уровня выходного и соответственно входного сигнала снижается коэффициент передачи УНУ, тем самым осуществляется компрессия сигнала.

При воспроизведении на вход канала управления поступает тот же сигнал, что и на вход основного канала, полярность напряжения, управляющего УНУ, меняется на обратную (чтобы получить экспандирование, а не компрессию) и, наконец, частотная характеристика предискажений в основном канале изменяется на зеркальную той, что была при записи.

Частотный корректор в основном канале при записи стоит перед УНУ и снижает уровень низкочастотных сигналов на 12 дБ (точки перегиба 370 и 1590 Гц). При воспроизведении же он включен после УНУ и восстанавливает уровень низкочастотных сигналов.

В канале управления сигнал проходит через второй частотный корректор, поднимающий уровень сигналов высоких частот на 20 дБ (точки перегиба 1600 Гц и 16 кГц). К выходу частотного корректора подключен фазорасщепитель второго порядка (Phase Splitter). С его выходов снимаются два сигнала, фазовый сдвиг между которыми в диапазоне частот 20...200 Гц колеблется около 90° (квадратурные сигналы).

Далее эта пара сигналов поступает на два квадратичных выпрямителя, работающих на общий сглаживающий конденсатор. Сглаженное напряжение используется для управления коэффициентом компрессии при записи составляет 2:1. Иначе говоря, уровень выходного сигнала изменяется на 5 дБ при изменении уровня входного сигнала на 10 дБ.

Цель применения фазорасщепителя состоит в устранении главного недостатка широкополосного компандера: из-за необходимости быстрой реакции на высокочастотные сигналы время срабатывания выпрямителя должно быть как можно меньше (десятки микросекунд). Но тогда оно оказывается меньше периода самого низкочастотного сигнала, а следовательно, низкочастотный сигнал будет сам себя модулировать, что приведет к коэффициенту гармоник порядка 20...40%. Для того чтобы избежать пульсаций управляющего сигнала, Блэкмер воспользовался тем, что  $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ . То есть при использовании двух квадратичных детекторов и сдвиге фаз входных сигналов на 90° их выходные пуль-

<sup>1</sup> Название Dolby-A появилось позднее, после разработки Dolby-B. До этого момента профессиональная система шумопоножения называлась просто Dolby.

<sup>2</sup> Погрешности работы систем Долби, особенно при переходе с одного магнитофона на другой, давно уже стали притчей во языцех среди владельцев кассетных магнитофонов.

<sup>3</sup> Этот вариант системы шумопоножения потом получил обозначение dbx-I, с тем чтобы отличить его от более поздней (но худшей) версии dbx-II. Иногда dbx-I также называли как dbx-Pro, кроме того, существовала упрощенная версия dbx-II для бытовых магнитофонов.

саци компенсируют друг друга. Стоит отметить, что выпрямители работают с логарифмом абсолютной величины входного сигнала, поскольку УНУ имеет экспоненциальную характеристику регулирования.

Кроме того, постоянная времени зарядки интегрирующего конденсатора сделана обратно пропорциональной скорости нарастания входного сигнала. Благодаря этому при медленных изменениях входного сигнала сглаживание хорошее (постоянная времени велика), а при быстром нарастании сигнала обеспечивается ускоренная реакция выпрямителя (скорость «сброса» коэффициента усиления может достигать 90 дБ за одну миллисекунду!).

Скорость восстановления усиления при исчезновении входного сигнала составляет 140 дБ в секунду. Это значение примерно в полтора раза выше скорости восстановления чувствительности уха после окончания сильного сигнала, вследствие чего шум при наступлении паузы ослабляется быстрее, чем человек способен его услышать.

Благодаря применению среднеквадратичных выпрямителей фазовые искажения в канале передачи практически не влияют на работу компандера в установившемся режиме.

Назначение частотной коррекции не тривиально. Первый частотный корректор (в основном канале) предназначен для относительного подъема высоких частот при записи (при воспроизведении они зеркально ослабляются вместе с шумом). Кроме того, ослабление сигналов низких частот, на которых сосредоточена большая часть мощности сигнала, позволяет частично «разгрузить» от них канал записи, снизив тем самым искажения и модуляционный шум. Любопытно, что Долби применил аналогичную коррекцию («Spectral-skewing») только пятнадцать лет спустя, при разработке Dolby-SR.

Второй частотный корректор (в канале управления) выполняет сразу три функции. Во-первых, он в какой-то мере защищает канал управления от неслышимых низкочастотных помех, которые в его отсутствие вызвали бы хаотическую модуляцию сигнала. Во-вторых, фазовый сдвиг в этом корректоре смещает фазу пульсаций управляющего напряжения таким образом, что их фронты приходится примерно на тот момент, когда полезный сигнал переходит через ноль. Благодаря этому снижено влияние пульсаций управляющего напряжения на тех частотах, где фазорасщепитель уже не обеспечивает квадратуры (выше 500...800 Гц). И наконец, подъем высоких частот в канале управления уменьшает уровень установившихся высокочастотных сигналов на выходе компрессора (начиная примерно с 5 кГц), что предотвращает перегрузку магнитных лент и каналов записи.

Так устроен классический шумоподавитель dbx или dbx-I. Кроме описанной выше структуры, другими фирмами по лицензиям выпускались также ее варианты, аналогичные по характеристикам.

Надо сказать, что при всем изяществе этой конструкции, из нее торчат ослиные уши технократического подхода к разработке. Дело в том, что при работе с постоянными или плавно меняющимися по уровню синусоидальными сигналами все было в полном порядке, но вот обработка импульсных сигналов сопровождалась большими искажениями процессов их нарастания и спада. Это существенно изменяет тембр звучания многих инструментов<sup>6</sup>. Поэтому звукорежиссеры, записывавшие классическую и джазовую музыку, избегали применения компандера dbx, особенно при записи ударных. Кроме того, выбросы уровня при срабатывании компрессора (возникающие из-за задержки уменьшения усиления при нарастании сигнала), доходившие до 12...18 дБ, вынуждали снижать на ту же величину средний уровень записи. Как следствие, снижалась эффективность шумопонижения<sup>7</sup>. Иными словами, отношение сигнал/шум при большом сигнале оказывалось меньше, чем в отсутствие шумоподавителя на те самые 12...18 дБ. В профессиональных катушечных магнитофонах это проходило незамеченным. В кассетных же при громком сигнале оказывается слышно «дыхание» шума, звучание при этом «мутное», тогда как в паузе — гробовая ти-

данным Блессера, колеблется от 50 до 65 дБ. В хорошем катушечном магнитофоне, работающем с высокой скоростью ленты и широкими дорожками, первую из этих цифр при уровне записи -10...-15 дБ получить можно, но в обычном кассетном — едва ли.

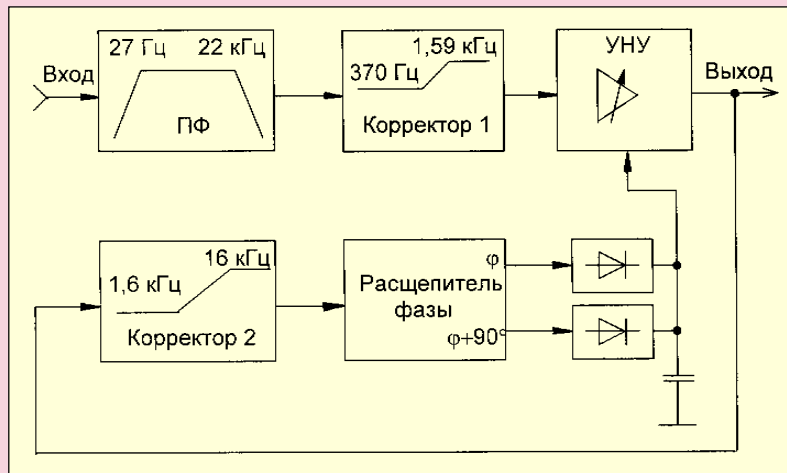
Далее, применение фазорасщепителей и пары квадратичных выпрямителей действительно позволяло резко уменьшить пульсации при выпрямлении гармонических колебаний («синуса»), но оказывалось почти бесполезным при детектировании реальных сигналов. Соответственно и интермодуляционные искажения низших частот при компрессии оказались изрядными (2...10%).

Еще одна проблема была вызвана тем, что АЧХ канала управления в системе dbx имеет вид, далекий от зеркального по отношению к спектральной плотности шума магнитофонов. Поэтому при воспроизведении слабых сигналов нарушается взаимное соответствие работы компрессора и экспандера. Происходит это из-за того, что схема управления чрезмерно чувствительна к самым высокочастотным (и низкочастотным) шумам, которые, не будучи слышны, вызывают паразитную модуляцию сигнала из-за детектирования в канале управления. Как следствие, реальное шумопонижение оказывается меньше теоретического и в реальных условиях по шуму паузы составляет всего 18...25 дБ (если учесть запас на перегрузку выбросами), а не 40...60 дБ. Кстати, паразитная модуляция доставляет неприятности почти во всех шумоподавителях, именно поэтому на входе шумоподавителя нужен полосовой фильтр, ослабляющий сигналы с частотами, выходящими за пределы звуковой полосы частот (особенно со стороны ВЧ).

Для уменьшения паразитной модуляции сигнала Блэкмер позднее ввел в канал управления ФНЧ четвертого порядка с крутым спадом и частотой среза в 10 кГц (помимо ФВЧ с частотой среза 35 Гц для подавления низкочастотных помех). Кроме этого, были изменены характеристики частотного корректора в канале управления. Его АЧХ получила наклон +6 дБ на октаву ниже 440 Гц и выше 4,8 кГц (до 10 кГц), с плоским участком между ними. Обработка импульсных сигналов после доработки стала еще хуже (из-за задержки, вносимой фильтрами)<sup>8</sup>, а риск перегрузки ленты на высших (и самых низших) частотах сильно возрос. Этот вариант устройства получил название dbx-II. И наконец, в начале восьмидесятых годов была выпущена бытовая версия dbx-II, в которой был применен обычный двухполупериодный выпрямитель, упрощен фильтр в канале управления и исключен фазорасщепитель<sup>9</sup>. Именно этот усеченный вариант реализован в известной микросхеме AN6291.

<sup>8</sup> Несмотря на уменьшение постоянной времени сглаживающего конденсатора на 30% и увеличение скорости восстановления усиления до 180 дБ/с.

<sup>9</sup> Как результат, нелинейные искажения на самых низких частотах увеличились до 5...10%, а интермодуляционные составили те же 5...10%, что недопустимо много.



шина! Так если уровень записи на ленту установить равным -15...-20 дБ (чтобы выбросы проходили неискаженными), то отношение сигнал/шум в кассетном магнитофоне при этом не превысит 30...40 дБ. А минимальная величина отношения сигнал/шум при громких сигналах, необходимая для того, чтобы шум не был слышен из-за его маскировки сигналом, по-

<sup>6</sup> Вопреки распространенному мнению, что тембр всецело определяется усредненным спектральным составом сигнала, главную роль в формировании тембров играют быстрые изменения уровня и спектра сигнала. Классический пример: тембр звучания рояля при проигрывании «задом наперед» разительно отличается от нормального, хотя спектральный состав — тот же самый.

<sup>7</sup> Для сравнения: ни одна из систем Долби не давала выбросов более чем на 3 дБ. Достигнуто это было, однако, весьма примитивным путем: выбросы просто срезались ограничителями, что вносило нелинейные искажения. Тем не менее их практически не было слышно как из-за кратковременности, так и из-за того, что они появлялись только при уровнях сигнала до -15 дБ. Сигналы с большим уровнем в Dolby-A проходили без обработки и поэтому практически не искажались.

Несмотря на отмеченные недостатки, неприхотливость и неплохое подавление шума снижали компандеру dbx добрую славу в студиях среднего уровня, особенно после выпуска ряда многоканальных магнитофонов (Tascam, Otari, Fostex) со встроенным dbx. (Конкурирующая система — Dolby-A была громоздка в реализации и поэтому всегда оформлялась в виде отдельного устройства, а кроме того, Долби не спешил распродавать лицензии на его производство). Тем не менее надо сказать, что фирма dbx, стремясь обогнать Dolby Laboratories, одно время продавала лицензии на свои шумоподавители без ограничений. Это привело к появлению на рынке версий, упрощенных до неработоспособности (чаще всего экономили на входном фильтре), и злые языки острели, что dbx — это «Dolby для бедных».

Основной причиной появления выбросов уровня при срабатывании и появления динамических погрешностей являлась тонкая ошибка в построении канала управления. Дело в том, что фазорасщепитель задерживает сигнал на обоих своих выходах, иначе говоря, сигнал управления неизбежно запаздывает по отношению ко входному сигналу. Именно поэтому, несмотря на все ухищрения с повышением быстродействия детектора (переменная постоянная времени срабатывания), и образовывались выбросы при подаче быстро нарастающих сигналов<sup>10</sup>.

Здесь уместно сравнение с системой шумопонижения High-Com, предложенной специалистами фирмы Telefunken в середине семидесятых годов.

High-Com во многом похожа на dbx: коэффициент компрессии одинаков (2:1), обе системы — широкополосные, обе используют частотную коррекцию с подъемом высоких частот при записи и ослаблением при воспроизведении. Но есть и отличия. Во-первых, закон компрессии в системе High-Com получен другим способом, с помощью последовательного включения двух одинаковых управляемых усилителей (УНУ) с общим управлением. Работа компрессора при этом основана на том, что если уровень сигнала на выходе второго УНУ поддерживать постоянным, регулируя усиление одновременно обоих, то сигнал на выходе первого УНУ окажется скомпрессированным в соотношении 2:1.

Как уже говорилось, при построении широкополосного компандера существует проблема, связанная с ростом искажений на низких частотах из-за недостаточной инерционности детектора. Поэтому детектор уровня сигнала в системе High-Com построен так, что у него после очень быстрого срабатывания есть определенное время «выдержки», в течение которого управляющее напряжение остается неизменным, а по его истечении может быстро упасть. Что касается динамических характеристик, то благодаря небольшому времени срабатывания (около 200 мкс) выбросы при компрессировании были невелики. Искажения на низших частотах были ощутимо снижены за счет того, что время выдержки (25 мс) было выбрано равным половине периода самых низкочастотных сигналов (20 Гц).

<sup>10</sup> Время задержки на обоих выходах фазоразностной схемы уменьшается с частотой, поэтому на средних частотах схема управления в dbx-I вела себя немного лучше, чем на низких. На высоких частотах начинало не хватать быстродействия детектора.

Это его хорошие стороны. Плохо было то, что из-за довольно быстрого восстановления усиления компрессора по истечении времени выдержки иногда образовывались слышимые «хлопания». Они учащались, если сигнал, поступающий на экспандер, имел заметную паразитную амплитудную модуляцию (более 5...10 %). Для бытовых магнитофонов такая величина ПАМ — скорее правило, нежели дефект, и как следствие — щелчки следовали друг за другом.

Еще один недостаток системы High-Com состоял в том, что частотная характеристика детектора, как и в dbx, оказывалась далекой от зеркальности по отношению к спектру шума канала воспроизведения. При работе компрессора и экспандера во всем диапазоне входных сигналов (как в dbx) это привело бы к большой паразитной модуляции сигнала помехами. Разработчики системы High-Com решили эту проблему, что называется, «в лоб»: они отказались от использования постоянного коэффициента компрессии (и экспандирования) на всех уровнях сигнала, введя порог, ниже которого компрессор не работал. В результате появилась проблема согласования уровней, как в системах Долби.

Позднее совместными усилиями специалистов фирм Telefunken и Nakamichi была разработана двухполосная версия, получившая название High-Com II. Частота раздела составляла около 5 кГц. Работала она ненамного лучше и довольно скоро была забыта.

Вскоре та же участь постигла и первоначальную версию — High-Com. Вероятно, связано это было с тем, что из-за чрезмерного подъема высоких частот при компрессии (до 17 дБ) и отсутствии мер по снижению уровня записываемого сигнала на высоких частотах возникали проблемы с перегрузкой лент. Кроме того, досаждали шумовые хлопки во время выдержки после прохода фронтов импульсных сигналов.

Но вернемся к компандеру dbx. К сожалению, разобрататься, в чем состояла причина больших выбросов и уменьшить их, Блэкмер уже не успел. Как следствие, рынок профессиональных средств шумопонижения остался в руках Долби<sup>11</sup>. Поэтому фирма dbx (уже без Блэкмера) предприняла попытку внедрения своей системы в бытовую технику. Надо сказать, что это ей удалось: в начале — середине восьмидесятых годов большинство высококлассных кассетных дек (Technics, Akai, Aiwa) «имело на вооружении» тот или иной вариант компандера dbx, а изготовители грампластинок выпустили ряд дисков, звуковая дорожка на которых была скомпрессирована с его помощью. dbx для грампластинок отличается отсутствием частотной коррекции в основном канале.

Тем не менее в нашему времени dbx из бытовых магнитофонов практически исчез. Вероятно, наряду с рассмотренными выше недостатками, сказались обстоятельства, что запись, сделанная с Dolby-B, при

<sup>11</sup> Несколько позже, во второй половине семидесятых годов, появилась немецкая система шумопонижения Telcom, которая сочетала достоинства Dolby (незаметность работы, неплохое подавление модуляционного шума) и dbx (сильное шумопонижение и неприхотливость к регулировке), но она оказалась еще сложнее (и дороже), чем Dolby-A, а потому широкого распространения, к сожалению, не получила. Кроме того, схемотехника Telcoma первое время была сыровата (неоптимальные частоты раздела, фактически однополупериодные детекторы и т. д.).

некотором завале высших частот сносно играет и без Dolby, а вот запись, компрессированная системой dbx, без декодирования звучит ужасно. Кроме того, экспандер Dolby-B, в отличие от экспандера dbx, может играть и роль динамического фильтра при воспроизведении шумных записей.

Однако, как показали изыскания автора, недостатки компандера dbx сравнительно легко могут быть сведены к минимуму. Сохраняется единственный недостаток — несовместимость записей с обычными и компрессированными СШП Dolby. Достоинства же — хорошее шумопонижение, неприхотливость, приемлемая сложность и хорошая повторяемость — остаются.

Наиболее важно то, что степень «порчи звука», т. е. заметности искажений, у разработанной автором версии dbx — подобного компандера оказалась меньше, чем у любого бытового Dolby, не исключая и Dolby-S, особенно при неидеально настроенном магнитофоне. «Ахиллесова пята» прототипа — выбросы при компрессии — практически «излечена».

Для достижения такого результата потребовалось внести четыре существенные доработки в первоначальный вариант компандера (dbx-I). В первую очередь, фазорасщепитель был заменен на фазовращатель, к выходу которого подключен один из каналов выпрямителя (другой канал подключен в обход фазовращателя). Во вторую очередь, были изменены частотные характеристики цепей предвыскажений как в основном канале, так и в канале управления, с тем чтобы согласовать их с особенностями компакт-кассетного формата. В-третьих, для того, чтобы уменьшить искажения динамики сигналов, ослабить влияние паразитной амплитудной модуляции и модуляции шума («дыхания»), коэффициент компрессии был снижен до 1,5:1 (как в системе Telcom). В-четвертых, в детектор была введена форсирующая цепь, ускоряющая его реакцию при резком нарастании высокочастотных сигналов (типа удара по тарелке, металлофону или треугольнику). И наконец, постоянная времени детектора была сделана составной для лучшего согласования со свойствами человеческого уха.

Эти меры позволили практически исключить как выбросы при срабатывании, так и паразитную модуляцию сигнала. В результате субъективно ощущаемая степень шумопонижения по сравнению с прототипом существенно возросла несмотря на снижение коэффициента компрессии. Особенно это заметно при записи «живых», необработанных сигналов. Реальный динамический диапазон хорошего кассетного магнитофона при этом достигает 85...90 дБ, что более чем достаточно в большинстве применений. Динамический диапазон, измененный по уместочной методике как отношение максимального сигнала частотой 1000 Гц (при искажениях 1 %) к взвешенному по МЭК-A шуму паузы, в авторском макете магнитофона<sup>12</sup> превысил 90 дБ при использовании ленты BASF Chrom Super и скорости ее движения 4,76 см/с. Что касается перегрузочной способности, то АЧХ сквозного канала при уровне сигнала +6 дБ равномерна в пределах от 20 Гц до 20 кГц (по критерию +0...-1,5 дБ), а «0 дБ» шумоподавителя приведен к уровню намагниченности ленты 185 нВб/м.

<sup>12</sup> Магнитофон имеет ряд особенностей, в частности, чрезвычайно малошумящие ГВ и УВ.

# ФЕРРИТОВЫЕ МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЗВУКОЗАПИСИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

**В. САЧКОВСКИЙ, г. Санкт-Петербург**

*В первой части статьи рассмотрены конструкции ферритовых магнитных головок, выпускаемых в СНГ серийно: указаны их параметры, отмечены особенности применения. В последующих частях описана технология изготовления головок, приведены дополнительные методики измерения параметров головок и рекомендации по регулировке магнитофонов с такими головками. Эти сведения будут полезны радиолюбителям и специалистам, занимающимся ремонтом и конструированием аппаратуры магнитной записи звука.*

Эпоха доминирования кассетных магнитофонов, вероятно, подходит к концу. Однако учитывая экономические соображения и наличие у населения огромного количества фонограмм на компакт-кассетах, можно предположить, что в нашей стране она продлится и, по крайней мере, еще 15–20 лет кассетные магнитофоны будут служить своим владельцам.

На страницах "Радио" уже появлялись публикации, посвященные магнитным головкам (МГ) для звукозаписи [1, 2]. И все же информации, в частности о ферритовых МГ, к сожалению, явно недостаточно. За последние десять лет можно припомнить лишь несколько материалов о ферритовых головках, появившихся в [3, 4, 5]. Более того, в некоторых материалах [1, 2] были допущены неточности, приводящие к серьезным проблемам при их использовании.

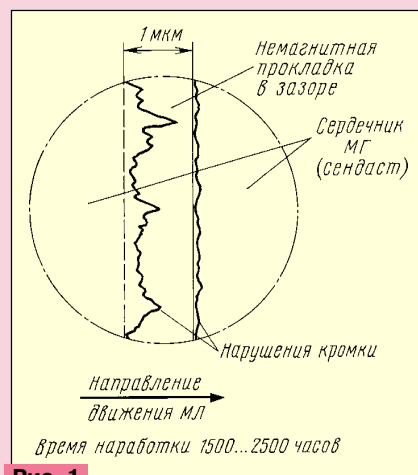
Автор попытался дать более полную информацию о ферритовых МГ, выпускаемых в настоящее время, и рассказать об

особенностях их применения в кассетных магнитофонах.

Как под общим названием "металлические" МГ подразумеваются головки из разных материалов (пермаллой, сендаст, аморфные сплавы), так и под названием "ферритовые" (или "стеклоферритовые") МГ имеются в виду головки из разных материалов с различной технологией изготовления, что существенно влияет на их параметры и эксплуатационные свойства. Для отечественных МГ информация о материалах и технологии изготовления заключена в двузначном числе – номере модификации – после точки в условном обозначении МГ. Определенным технологиям и материалам соответствуют конкретные области номеров модификаций; это было стандартизовано еще в 70-х годах и, за редким исключением, действует сейчас (табл. 1). Зарубежные фирмы маркируют головки по самым разным (зачастую закрытым) внутрифирменным стандартам, поэтому необходимую информацию из

обозначения зарубежной МГ извлечь практически нельзя.

Самое очевидное достоинство ферритовых МГ — их долговечность — определяется материалом рабочей поверхности. Различают ферриты поликристаллической и монокристаллической структуры. Поликристаллические ферриты, применяемые для изготовления МГ, получают либо по технологии горячего прессования — горячепрессованные ферриты (ГПФ), либо по технологии изостатического прессования (ИПФ) или "Oxostat". При изостатическом прессовании сжатие пресс-порошка происходит равномерно со всех сторон, при горячем же прессовании — только в одном направлении. В результате пористость ГПФ марки 10000 МТ-1 не превышает 0,5%, а феррита мар-



**Рис. 1**

ки 10000 МТ-2 (ИПФ) — не более 0,1%. Широко применяемый для изготовления стирающих головок прессованный (на стадии формовки) феррит М1500НМ3 ([1]) имеет пористость до 5% и более. Пористость материала определяет не только износ самой МГ, но, что важнее, и износ рабочего слоя магнитной ленты (МЛ). Рабочая поверхность стирающих головок (для таких магнитофонов, как "Орбита-205" из обычного феррита с пористостью до 20% представляет собой, по сути, "терку", нещадно обдирающую рабочий слой МЛ (вспомните горки порошка на лентопротяжном механизме). Только в МГ типа 6С24.710 применен ИПФ, обеспечивающий малый износ МЛ (в [1] неточно указано, что материал получен горячим прессованием).

Монокристаллические ферриты (МКФ) получают, используя технологию выращивания искусственных рубинов и сапфиров по методам Вернейля, Чохральского или Бриджмана. Первые два метода более производительные, но кристаллы получаются менее качественные, поэтому чаще применяют метод Бриджмана [6, 7]. Выращивание кристалла (так называемой "були") весом 8 кг вместе с охлаждением занимает около 20 дней. Монокристалл является анизотропным материалом и при изготовлении МГ требует ориентации по кристаллографическим осям.

Характер износа рабочей поверхности из ГПФ или ИПФ и монокристалла весьма различен. На рабочую поверхность головки воздействуют абразивность МЛ,

**Таблица 1**

Завод-изготовитель или разработчик магнитной головки, город	Материал рабочей поверхности МГ	Номера модификаций	Примечание
ВКБМЗ, г. Вильнюс	Сендаст, пермаллой	01 – 20	1
НПО "Маяк", г. Киев	Пермаллой	21 – 30	
НПО "Исток", г. Фрязино Моск. обл.	Пермаллой	31 – 40	2
"Весна", г. Запорожье	Сендаст	31 – 40	3
З-д "Техприбор", г. С.-Петербург	Пермаллой	41 – 50	-
ПО "Электрон", г. Ереван	Горячепрессованный феррит (ГПФ)	51 – 60	-
З-д "Эльф а", г. Вильнюс	Пермаллой	61 – 70	-
"Магнетон", г. С.-Петербург	Монокристаллический феррит (МКФ)	71 – 80 (17)	4
ПО "Монолит", г. Новосибирск	Сендаст	81 – 90	-
ПО "Горизонт", г. Боровичи	Пермаллой, сендаст	91 – 99	
ПО ЭВТ, г. Пенза	Горячепрессованный феррит (ГПФ)	01	3; 5

1 – МГ под этими номерами изготавливаются также на других заводах по документации ВКБ МЗ.  
 2 – МГ для катушечных магнитофонов.  
 3 – МГ для кассетных магнитофонов.  
 4 – МГ типа ЗА44.171 (ошибочное обозначение), также ЗД12.171.  
 5 – МГ типа ЗД24.012 (произвольное обозначение).

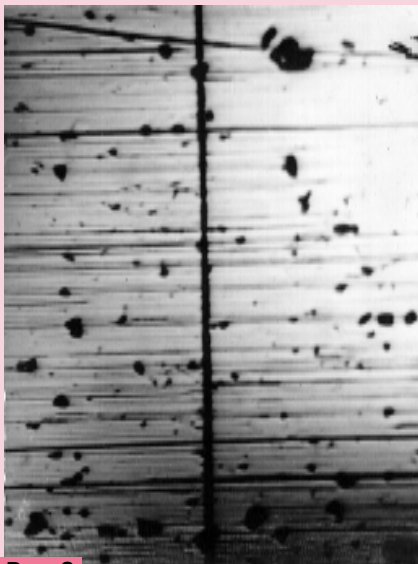


Рис. 2

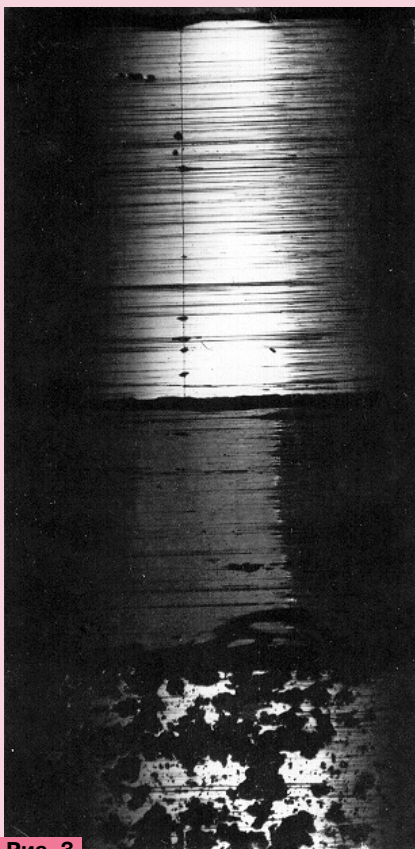


Рис. 3

адгезия (прилипание) к МЛ, тепловое и электростатическое воздействие фрикционного происхождения (особенно в аппаратах скоростной перезаписи), а также удары от микровключений в рабочем слое МЛ (характерно для отечественных и изношенных зарубежных МЛ). Если пермаллоевые головки, как наиболее мягкие, отказывают вследствие изменения формы рабочей поверхности (“пропиливаются”), сендастовые – от потери линейности кромок, заволакивания зазора под действием адгезии (рис. 1), то головки из ГПФ (в большей степени) или из ИПФ (в меньшей степени) изнашиваются за счет эрозии, выкрашивания зерен поликристалла. Раз-

мер зерен в ГПФ — 15...30 мкм, в ИПФ — 10...15 мкм. Эрозия происходит от воздействия электростатических сил, температурных микронапряжений и ударов микровключений по наиболее слабым участкам – границам зерен. На рабочем зазоре образуется “рытвина” шириной 10...30 мкм. Единичные выкрашивания быстро переходят в массовые, и головка отказывает. При глубине зазора 60...80 мкм восстановление таких головок затруднено. Кроме того, края “рытвин” царапают рабочий слой ленты, приводя к увеличению уровня шумов.

В отличие от головок на основе ГПФ и ИПФ износ головок из МКФ носит преимущественно абразивный характер, эрозия (т.е. вырыв частичек материала) практически не наблюдается. Вначале происходит износ более мягкого стекла, заполняющего зазор, образовавшаяся лунка обнажает кромки зазора, затем – “завал” кромок, приводящие к постепенному расширению эффективной ширины зазора. Важно, что головка на основе МКФ сохраняет поверхность магнитных лент зеркальной даже тогда, когда сама головка сильно изношена.

Кстати, последствия умеренного износа головок из МКФ легко устраняются без снятия с магнитофона путем прогона полировальной ленты (электрокорунд с зерном 10 мкм), нарезанной по ширине 3,81 или 6,3 мм. Такая лента выпускается многими заводами (в С.-Петербурге – ЛОМО, завод “Магнетон”). Время прогона – 1...2 мин. При полировке снимается слой толщиной всего 2...4 мкм, что полностью восстанавливает параметры МГ (при полировке через каждые 30 с проводится контроль АЧХ до полного ее восстановления). Благодаря этому МГ из МКФ можно изготавливать с глубиной зазора всего 40...60 мкм. После прогона полировальной ленты имеет смысл несколько часов погонять магнитофон на малоценной ленте с повышенной абразивностью (Sound Breeze или ТАСМА МК 60-7) для финишной доводки поверхности.

Хорошо известно, что при работе магнитофона по 2 ч в день пермаллоевые головки отказывают через 1,5...2 года, сендастовые – через 2...2,5 года, МГ из ГПФ или ИПФ – через 2...4 года. Для сравнения: МГ из МКФ служат 6...10 лет, и притом легко восстанавливаются. В аппаратах скоростной перезаписи срок службы уменьшается пропорционально увеличению скорости и ежедневной наработке, кроме МГ из ГПФ или ИПФ, которые отказывают быстрее (особенно головки записи). Неожиданная особенность: головки из МКФ с лентой МЭК II ( $\text{CrO}_2$ ) обычно работают дольше, чем с лентой МЭК I ( $\Sigma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). На рис. 2 показан характер разрушения зазора образца головки ЗД24.712 из ГПФ 10000 МТ-1 после 1000 ч наработки, а на рис. 3 – зазор головки 6В24.710 из МКФ после 5000 ч наработки. Рядом (снизу) виден изъеденный эрозией межканальный экран из ГПФ.

Электромагнитные параметры головок приведены в табл. 2. По головкам ЗД24.012 (ПО ЭВТ, г. Пенза) и 6А24.510 и 6В24.510 (г. Ереван) даны паспортные данные, по остальным – реальные, измеренные на большом количестве головок. Приведены условия измерения в соответствии с [8]. Коэффициент шунтирования  $K_{ш}$  характеризует

потери в магнитной головке и рассчитывается по формуле

$$K_{ш} = E/E_{ид},$$

где  $E$  – электродвижущая сила (ЭДС) реальной головки, мВ;  $E_{ид}$  – ЭДС головки без потерь, мВ.

В общем случае

$$E_{ид} = 2l \cdot f \cdot \Phi_0 \cdot h \cdot W \cdot 10^3,$$

где  $f$  – частота измерения, Гц;

$\Phi_0$  – эффективное значение магнитного потока короткого замыкания на 1 м ширины дорожки по [9], Вб/м;

$h$  – ширина дорожки, м;

$W$  – число витков.

Подставляя значения, получаем для кассетных магнитофонов при  $f = 315$  Гц,  $\Phi_0 = 250$  нВб/м,  $h = 0,6$  мм,  $W = 1000$  витков

$$E_{ид} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ В};$$

а для катушечных магнитофонов при  $h = 0,94$  мм

$$E_{ид} = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ В}.$$

Амплитудно-частотная характеристика воспроизведения (АЧХВ) головки без потерь,  $D_{рид}$ , дБ, рассчитывается по формуле

$$D_{рид} = 20 \lg(f_{изм}/f) + N_{изм},$$

где  $f_{изм}$  – номинальная частота измерения АЧХВ, Гц (верхняя частота);

$f$  – опорная частота, равная 315 Гц;

$N_{изм}$  – относительный уровень записи на номинальной частоте измерения по [9], дБ.

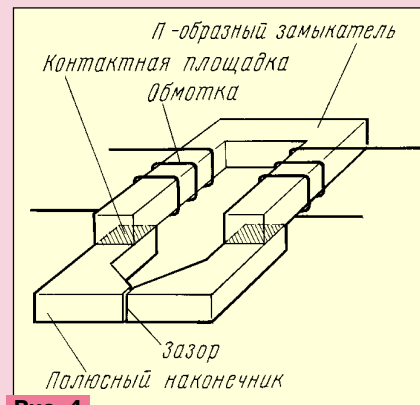


Рис. 4

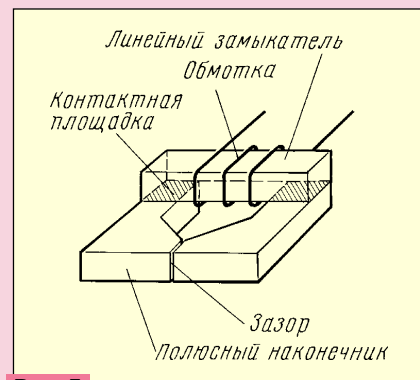


Рис. 5

В табл. 2 не приведены данные по стирающим головкам (ГС). Это связано с тем, что параметры ГС для катушечных магнитофонов приведены в [1], а отечественные ГС для кассетных магнитофонов не представляют интереса, поскольку изготавливаются из прессованного феррита и нещадно обдирают ленту. Кроме того, эти головки не работают с лентой МЭК IV

Тип головки	Индуктивность, сопротивление, мГн (Ом)	Число витков	ЭДС ( $f=315$ Гц), мВ	$K_{\omega}$	Воспроизведение				Запись				Примечание
					$f_{\text{ном}}$ , кГц	При $t_1$ , мкс	$D_{\text{ном}}$ , дБ	$D_r$ , дБ	Тип МП по МЭК	Спад АЧХ записи, дБ	Ток записи, мА	Ток подм., мА	
3Д24.712	85...115 (200...220)	1050	0,17...0,24	0,55...0,77	10	120	12,5	7...10	I	9...12	0,05...0,11	0,15...0,2	Исполнение "Мини"
									II	2,5...6	0,08...0,16	0,25...0,4	
					12,5	12,6	5...8	I	15...19	0,05...0,11	0,15...0,2		
								II	9...13	0,08...0,16	0,25...0,4		
3Д24.752У	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,21	0,5...0,62	10	120	12,5	5...8	I	9...12	0,05...0,1	0,14...0,22	То же
									II	2,5...6	0,07...0,15	0,23...0,45	
3Д24.752	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,21	0,5...0,62	10	120	12,5	5...8	I	9...12	0,05...0,1	0,14...0,22	
									II	2,5...6	0,07...0,15	0,23...0,45	
3Д24.751	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,2	0,5...0,59	14	70	17	9...11	I	10...19	0,06...0,11	0,14...0,22	
									II	3...9	0,07...0,16	0,23...0,45	
3Д24.750	80...120 (220...240)	1150	0,17...0,19	0,5...0,56	18	70	17	7...10	I	11...20	0,06...0,11	0,14...0,22	
									II	3...10	0,07...0,16	0,14...0,45	
3Д12.172	100...140 (220...240)	1150	0,3...0,6	0,34...0,68	10	120	12,5	5...11	I	9...12	0,13...0,28	0,35...0,57	Моно
3А24.751	17...25 (95...110)	525	-	-	14*	-	-	-	I	9...15	0,1...0,25	0,3...0,55	Для скор. перезаписи
									II	3...9	0,12...0,35	0,5...1	
3А44.171	3,8...7,0 (26...28)	200	-	-	14*	-	-	-	I	9...15	0,25...0,7	0,75...1,3	То же
									II	3...9	0,3...0,9	1,3...2,5	
6Д24.711	50...100 (100...140)	1000	0,27...0,35	0,58...0,75	14	90	15	7...14	I	6...12	0,09...0,2	0,35...0,45	
6В24.710	300...500 (380...450)	2000	0,48...0,7	0,51...0,75	14	90	15	10...14	-	-	-	-	
6А24.710	1,9...3,1 (3...4)	200	-	-	14**	-	-	-	I	2...10	0,4...1,2	2...4	
6В24.510	≤500	-	0,48...0,88	-	14	90	15	10...16	-	-	-	-	
6А24.510	1,65...2,75	-	-	-	14**	-	-	-	I	Нет данных	0,1...1	2...3,5	
3Д24.012	90...170	-	0,16...0,36	-	10	120	12,5	5...9	I	То же	0,055...0,125	0,08...0,16	

\* Режим записи на скорости 4,76 см/с.

\*\* Режим записи на скорости 9,05 см/с.

("Metal"). Качественное размагничивание таких лент – тема отдельной статьи.

Есть особый класс стирающих головок, применяемых в дешевых зарубежных аппаратах, — головки на постоянном магните. Сердечник из высокоэлектрического феррита намагничивают по специальному закону, получая знакопеременное спадающее магнитное поле. Число полюсов от трех до десяти и более. Качество стирания невысокое: повышенные шумы и нелинейные искажения. У нас такие головки используются в магнитофонах "Электроника-402С", "Электроника-331С" и их модификациях (производство в г. Зеленограде и г. Воронеже).

Что же касается головок для записи и воспроизведения, то завод "Магнетон" (г. С.-Петербург) выпускал их с магнитоприводом как из ГПФ или ИПФ, присваивая им индекс "П", так и из МКФ с индексом "М". С середины 80-х годов по результатам испытаний головки выпускаются только из МКФ. ПО ЭВТ (г. Пенза) выпускало головки из ГПФ 10000 МТ-1 (феррит производства завода "Магнетон"). Ереванский завод выпускает го-

ловки из ГПФ собственного изготовления. Ферритовые головки, поступающие на наш рынок из-за рубежа, практически все, даже считающиеся высокочастотными (Hitachi, Sony, JVC), изготовлены из ГПФ или, в лучшем случае, из ИПФ.

Ферритовые головки (табл. 2) изготавливаются по двум конструктивным схемам (рис. 4, 5): с "П"-образным и с линейным замыкателями. Первая конструкция имеет больший объем перемагничиваемого материала, что приводит к повышенной нелинейности воспроизведения сигналов с малым уровнем записи ("Ферритовому звуку"), но зато позволяет разместить обмотку с большим числом витков. Применяется в головках для катушечных магнитофонов. Вторая же конструкция (рис. 5) обеспечивает хорошую линейность при воспроизведении, но число витков при этом ограничено размерами окна под обмотку и внешними габаритами МГ. Одно время считалось, что при такой конструктивной схеме невозможно получение приемлемой величины ЭДС МГ. Однако проведенный автором детальный расчет магнитной цепи по уточненной методике выявил область конструктивных параметров, в которой

МГ по такой схеме конкурентоспособны. Это позволило впервые создать ферритовые МГ для кассетных магнитофонов, отличающиеся отсутствием "ферритового звука" при воспроизведении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полев Ю. Магнитные головки катушечных магнитофонов. — Радио, 1989, № 12, с. 84.
2. Сухов Н. Магнитные головки для кассетных магнитофонов. — Радио, 1995, № 5, с. 15—17.
3. Мелешкин Н. Замена магнитной головки. — Радио, 1988, № 10, с. 36.
4. Колотило Д. Восстановление магнитных головок. — Радио, 1988, № 11, с. 38.
5. Федичкин С. Полевой транзистор во входном каскаде малошумящего УЗЧ. — Радио, 1988, № 10, с. 30.
6. Смит Г. Драгоценные камни. — М.: Мир, 1984, с. 186 — 195.
7. Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. — М.: Мир, 1974.
8. Головки магнитные для звукозаписи. Общие технические условия. ГОСТ 19775—87. — М.: Госкомстандарт.
9. Ленты магнитные измерительные лабораторные и технологические для бытовых и автомобильных магнитофонов. Общие технические условия. ОСТ4.306.002-86. — М.: ВНИИ.

(Продолжение следует)

# ЛАМПЫ ИЛИ ТРАНЗИСТОРЫ? ЛАМПЫ!

В. КОСТИН, г. Москва

**В двух предыдущих статьях мы познакомили читателей со схематехникой и особенностями работы усилителей ЗЧ на электронных лампах. В публикуемом ниже материале предлагается описание доступного для повторения в любительских условиях комплекта ламповых усилителей, выпускаемых фирмой "Валанкон", в который входят предварительный усилитель и усилитель мощности.**

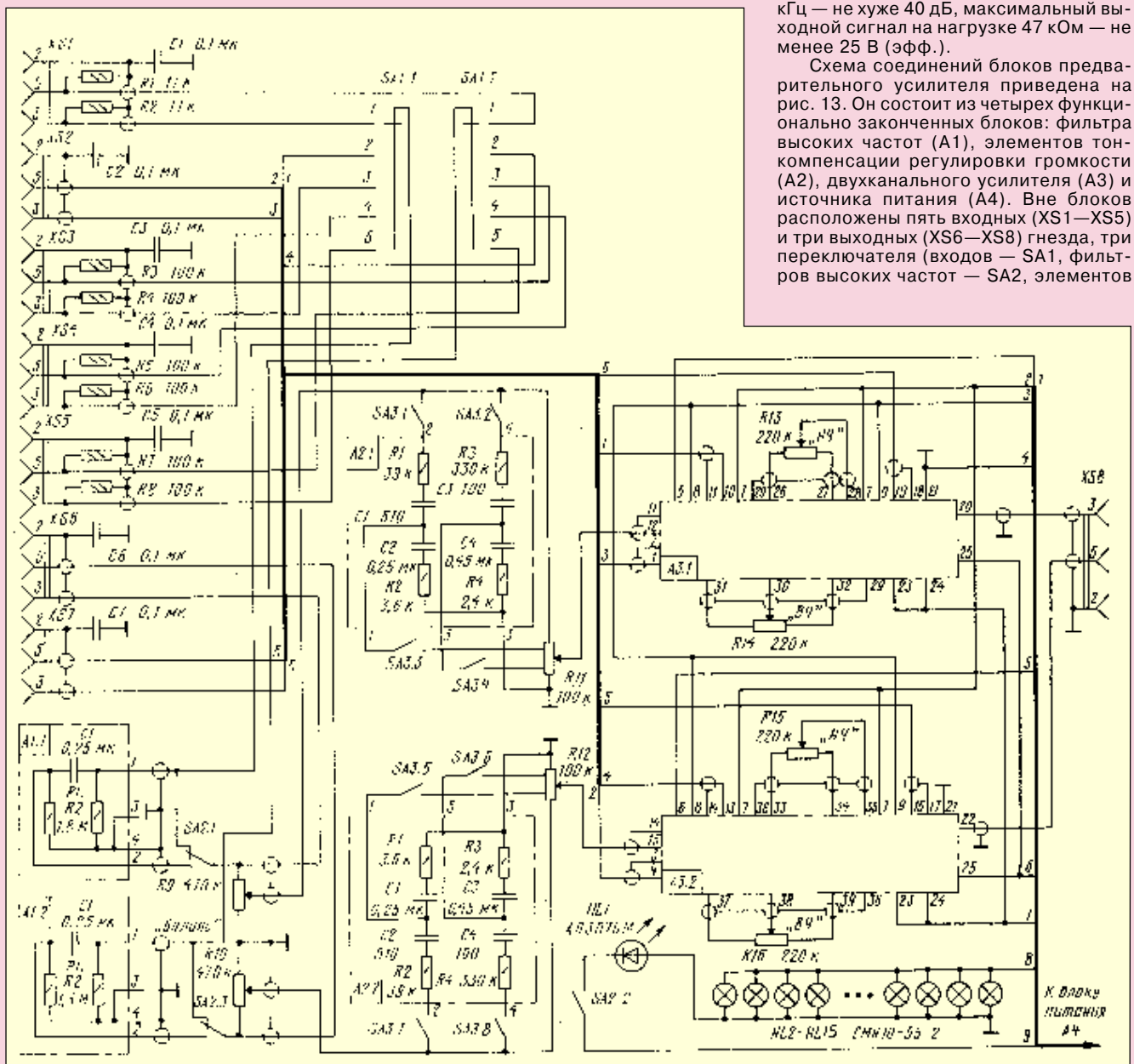
Предварительный усилитель выполнен по двухканальной схеме, работает от магнитных звукоснимателей

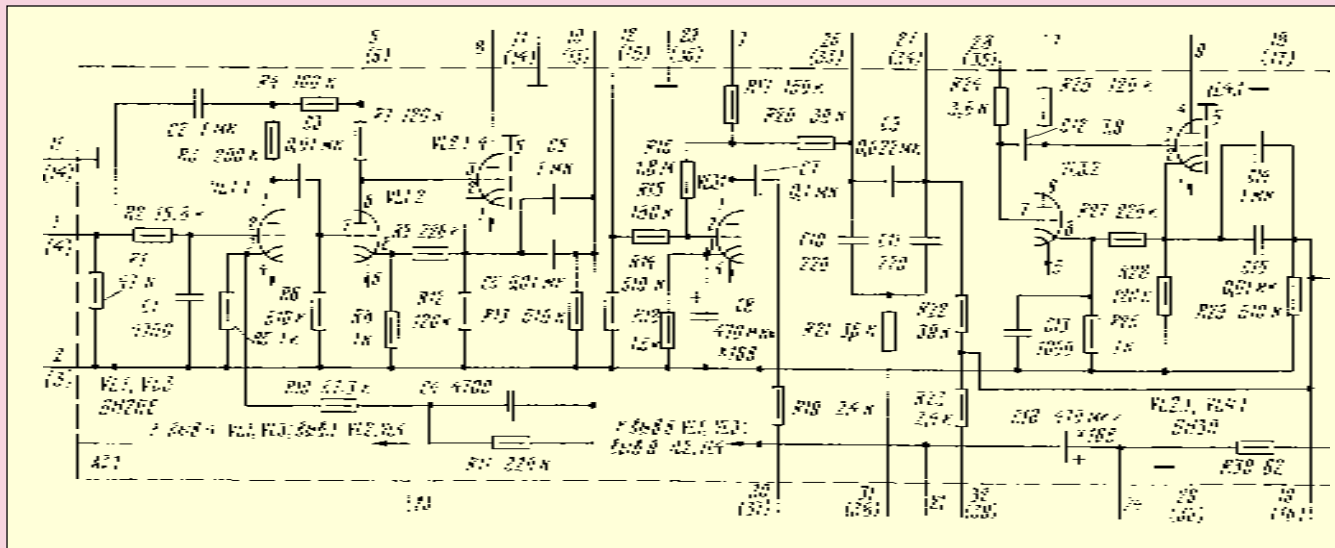
традиционных ЭПУ, проигрывателей компакт-дисков и других источников низкочастотных сигналов. В нем пре-

дусмотрена тонкомпенсированная регулировка громкости, регулировка тембра по низшим и высшим звуковым частотам, регулировка стереобаланса. Усилитель имеет два выхода и гнезда для работы на стереотелефоны. К одному из выходов может быть подключен магнитофон, а к другому — внешний УМЗЧ.

**Основные технические характеристики усилителя.** Номинальное сопротивление входа: магнитного звукоснимателя — 47, проигрывателя компакт-дисков — 10, универсального — 100 кОм; диапазон воспроизводимых звуковых частот — 7...90 000 Гц; диапазон регулировки тембра по низшим и высшим звуковым частотам — 6 дБ; уровень шума (взвешенное значение) — на выходе усилителя-корректора магнитного звукоснимателя — 73, линейного усилителя — 97 дБ; выходное сопротивление — не менее 1 кОм; разделение стереоканалов на частоте 10 кГц — не хуже 40 дБ, максимальный выходной сигнал на нагрузке 47 кОм — не менее 25 В (эфф.).

Схема соединений блоков предварительного усилителя приведена на рис. 13. Он состоит из четырех функционально законченных блоков: фильтра высоких частот (А1), элементов тонкомпенсации регулировки громкости (А2), двухканального усилителя (А3) и источника питания (А4). Вне блоков расположены пять входных (XS1—XS5) и три выходных (XS6—XS8) гнезда, три переключателя (входов — SA1, фильтров высоких частот — SA2, элементов





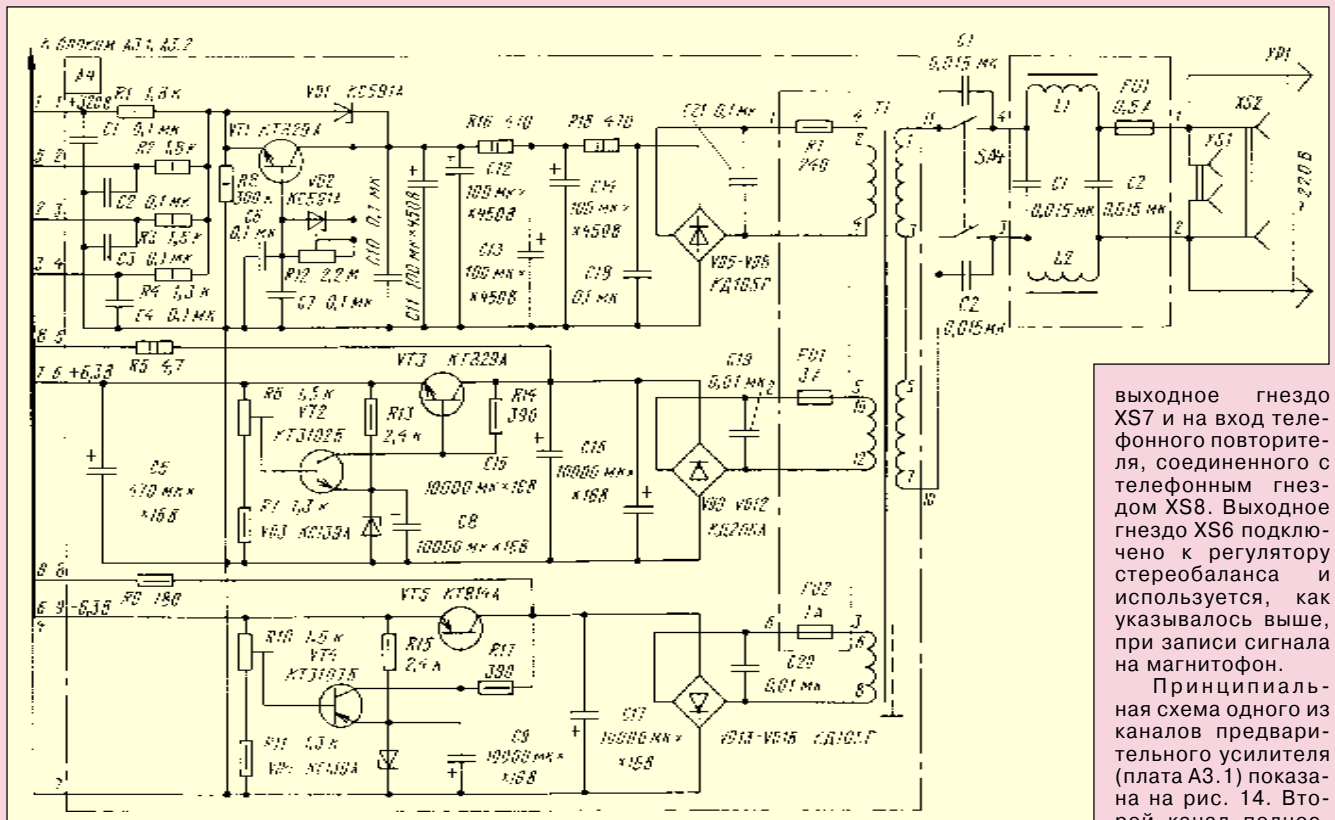
**Рис. 14**

тонкомпенсации — SA3), регуляторы стереобаланса (R9, R10), громкости (R11, R12), тембра низших (R13, R15) и высших (R14, R16) звуковых частот, элементы индикации (HL1—HL15), заграждающий сетевой фильтр и выключатель питания.

На передней панели корпуса усилителя установлены регуляторы громкости, тембра и стереобаланса, выключатель

Сигнал со входа магнитного звукоснимателя XS2 поступает на вход усилителя-корректора, а с его выхода — на переключатель входов SA1. Сюда же подводятся сигналы со всех остальных входов, которые попадают далее на фильтры высоких частот R1R2C1 (платы A1.1, A1.2). Фильтры предназначены для ограничения звукового спектра со стороны низших звуковых частот

на регуляторы громкости R11, R12, а затем на входы предварительных усилителей ЗЧ (платы A3.1 и A3.2). С помощью переключателя SA3 к отводам резисторов R11, R12 могут быть подключены элементы тонкомпенсации R1, R2, C1 и R3, R4, C3, C4 (платы A2.1 и A2.2). С выхода предварительного усилителя (выв. 19, 16 плат A3.1 и A3.2) усиленный сигнал поступает на



**Рис. 15**

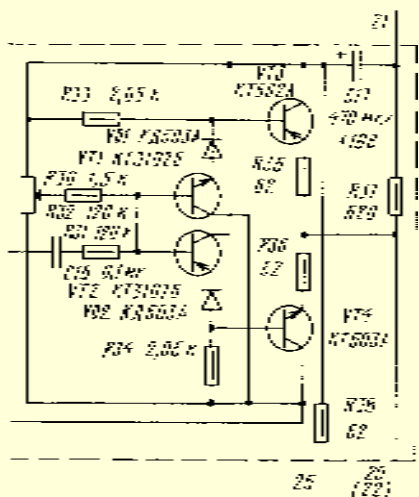
атель сети, индикатор включения фильтра высоких частот, выключатель тонкомпенсации, переключатель входов и телефонное гнездо, а на задней — входные и выходные гнезда и гнездо заземления.

(<18 Гц) и при желании могут отключаться переключателем SA2. О включении фильтров сигнализирует светодиод HL1. Через эти переключатели и отдельные регуляторы стереобаланса R9, R10 входные сигналы попадают

Выводы его платы указаны в скобках рядом с выводами первого канала (рис. 14). На плате A3.1 смонтированы усилитель-корректор магнитного звукоснимателя, а также линейный и телефонный усилители.

выходное гнездо XS7 и на вход телефонного повторителя, соединенного с телефонным гнездом XS8. Выходное гнездо XS6 подключено к регулятору стереобаланса и используется, как указывалось выше, при записи сигнала на магнитофон. Принципиальная схема одного из каналов предварительного усилителя (плата A3.1) показана на рис. 14. Второй канал полностью ему идентичен.





При работе от магнитного звукоснимателя входной сигнал с гнезда XS2 (рис. 13) через цепь пассивной высокочастотной коррекции R2C1 поступает на вход трехкаскадного усилителя-корректора. Два первых его каскада выполнены на двойном триоде VL1 по обычной резистивной схеме с нагрузкой в цепи анода. Третий каскад собран на лампе VL2.1 по схеме катодного повторителя, что способствует хорошему его согласованию с линейным усилителем. Для стабилизации режима работы этого каскада служит цепь R8R9R12. Стандартная АЧХ усилителя-корректора получена благодаря двум частотно-зависимым цепям: пассивной R2C1 и цепи ООС, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через элементы R10R11C4 подается на катод входной лампы VL1.1. Напряжение с выхода усилителя-корректора (выв. 10 платы А3.1) подается на переключатель входов SA1 и далее обычным порядком — на вход (выв. 12 платы А3.1) линейного усилителя.

Коэффициент усиления корректора магнитного звукоснимателя на частоте 1000 Гц — 38 дБ; взвешенное значение отношения сигнал/шум — 72...74 дБ; отклонение АЧХ от стандартной при использовании элементов R2, R5, R10, R11, C1, C4 с допуском 1% — не более 1 дБ.

Линейный усилитель, как и усилитель-корректор, трехкаскадный. Каскады на триодах VL3.1 и VL3.2 лампы VL3 собраны по схеме резистивных усилителей. Первый из них через резисторы R15R16 охвачен цепью местной ООС, снижающей его выходное сопротивление. Третий каскад представляет собой катодный повторитель. Напряжение с его выхода поступает на выходное гнездо XS7 и на телефонный усилитель. Регуляторы тембра R13 (НЧ) и R14 (ВЧ) вместе с элементами R19—R23 и C9—C11 работают в цепи общей ООС. Коэффициент усиления линейного усилителя — 20 дБ; взвешенное значение отношения сигнал/шум — 97...99 дБ. Телефонный усилитель выполнен по схеме составного эмиттерного повторителя на транзисторах VT1—VT4. Напряжение с его нагрузки поступает на телефонное гнездо XS8 (см. рис. 13).

Принципиальная схема блока питания предварительного усилителя приведена на рис. 15. Переменное сетевое напряжение поступает на него через специальный фильтр подавления высокочастотных помех L1L2C1C2 и выключатель питания SA4. Сетевой трансформатор T1 работает на три выпрямителя. Выпрямитель анодного напряжения собран на диодах VD5—VD8, включенных по мостовой схеме. Выпрямленное напряжение поступает на сглаживающий пульсаций фильтр R18C11—C14R16 и далее на электронный фильтр на транзисторе VT1 и стабилитронах VD1, VD2. Последние защищают транзистор от пробоя в момент включения питания. Режим работы этого фильтра устанавливается подстроечным резистором R12. На выходе электронного фильтра включены пассивные RC-фильтры R1C1, R2C2, R3C3 и R4C4.

Выпрямитель напряжения накала ламп собран на диодах VD9—VD12. Непосредственно с его выхода (после сглаживающих конденсаторов C15, C16) через резистор R5 подается питание на индикаторные лампы накаливания HL2—HL15. Напряжение накала ламп усилителя предварительно поступает на стабилизатор на транзисторах VT2, VT3. Точная величина стабилизированного напряжения (+6,3 В) выставляется подстроечным резистором R6.

Напряжение для питания телефонного усилителя (−6,3 В) выпрямляется диодами VD13—VD16, проходит через сглаживающий пульсаций конденсатор C17, стабилизатор на транзисторах VT4, VT5 и поступает на электроды транзисторов VT1—VT4 платы А3 предварительного усилителя.

Основные блоки усилителя смонтированы на металлическом шасси размерами 475×112×400 мм. Во всех блоках использованы постоянные резисторы С2-23 и С2-33 и подстроечные СП4-1. На плате усилителя (А3.1) установлены конденсаторы К71-7 (C1, C4, C13, C16), К73-17 (C2, C5, C14), К78-2 (C3, C6, C7, C15), К77-7 (C9—C11, C13), К50-24 (C8, C17, C18), КД-2 (C12); на плате блока питания (А4) — К73-17 (C1—C4, C6, C7, C10, C18—C20), К50-24 (C5, C8, C9, C15—C17); на плате тонкомпенсации (А2) — ПМ-2 (C1, C3) и К71-7 (C2, C4); на плате фильтра высоких частот (А1) — К71-7 (C1); вне блоков — КМ-5 (C1—C7) и К73-17 (C8—C9); в сетевом фильтре — К73-17 (C1, C2).

В качестве регуляторов стереобаланса использованы резисторы СПЗ-30, регуляторы громкости — СПЗ-30, регуляторы тембра — СПЗ-30. Сетевой трансформатор предварительного усилителя выполнен на магнитопроводе Ш26×52. Обмотка 1—3—5—7 содержит 2×404 витков провода ПЭВ-2 0,315; обмотка 2—4 — 1078 витков провода ПЭВ-2 0,08; обмотка 10—12 — 36 витков провода ПЭВ-2 1,41; обмотка 6—8 — 31 виток провода ПЭВ-2 0,315. Экранирующая обмотка состоит из 20 витков провода ПЭВ-2 0,1, намотанных в один ряд. В сетевом фильтре установлены дроссели ДМ-3 (L1, L2). Сетевой выключатель SA4 — ПKN-41, переключатель фильтра высоких частот SA2 — ПKN61, остальные переключатели SA1, SA3 — ПГК.

## МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Условия см. в «Радио», 1998, №1, с. 39

Радиодетали. 20 тысяч наименований.  
 Fax (3512) 65-58-43  
 Email pallada@garural.chel.su.

Программатор UniProg (для всех видов ПЗУ, ПЛМ и т. д.), печатную плату для его самостоятельного изготовления, программы и др. можно приобрести в фирме «МикроАрт» (тел.: 189-28-01; 180-85-98), на Митинском радиорынке (место № 4) или заказать по почте (123022, Москва, а/я 76). Также высылаем конвертеры SVGA-PAL, микро-АТС и др., книги по компьютерной тематике: «Железо IBM 98», «Вопросы и ответы по Си С++» и др. Для получения каталога и реквизитов в письмо вложите конверт с вашим адресом.

Хлорное железо - 10 \$/1,25 кг наложенным платежом.  
 659305, Алтайский край, г. Бийск, а/я 230.

Р/детали - почтой.  
 Каталог - 8 р. Н/платежом - 16 р.  
 192284, С.-Петербург, а/я 243,  
 Утюжникову А. Ю.

НТК «ДИОГЕН» поставляет комплектующие зарубежного производства: микросхемы; транзисторы; диоды; ЖК-индикаторы и ЖК-экраны, в т. ч. TFT Color (и на минусовые температуры); корпуса для аппаратуры.  
 Тел. (095) 229-83-56.

Реализуем наложенным платежом наборы для сборки автосигнализации: ДУ-2 шт., двери, капот, багажник, блокировка зажигания, выходы на фары, сирену, центральный замок, пейджер. Настроенные платы — 270 т. р. Набор деталей с платами — 180 т. р. Платы с документацией — 80 т. р. ИК датчик перемещений (Р. 12/96): настроенная плата — 40 т. р., набор деталей и плата — 25 т. р. Сирена — 40 т. р. Цены без пересылки.  
 Адрес: 636070, г. Северск - 19, ул. Победы 8/б, НПФ «ЭЛИС».

Прибор для измерения емкости и индуктивности 0,1 пФ - 20 мкФ; 0,1 мкГ - 1,2 Гн. Цена 40\$. Бесплатный каталог. 103045, Москва, а/я 121

Тех. док. по ремонту «Sega» - 65 р.  
 Р/неликвиды оч. дешево. Каталог - 20 р. + 2 конв.  
 Оплата - п/п 248600 Калуга Гагарина 13/