

ПРАВДА И “СКАЗКИ”

О ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОМ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИИ

Н. СУХОВ, г. Киев, Украина

Давние разработки Н. Е. Сухова (системы динамического подмагничивания, УМЗЧ высокой верности и др.) до сих пор не забыты любителями высококачественной записи звука. Это отражают и письма в редакцию журнала “Радио”, и ссылки на статьи в других изданиях, да и, насколько нам известно, личная почта автора.

В предлагаемой статье Н. Е. Сухов отвечает на вопросы наших читателей и ряд критических замечаний в его адрес. Полагаем, эта публикация для многих будет представлять интерес, тем более что она содержит рекомендации по доработке усилителей мощности и анализ некоторых аспектов современной звукозаписи.

За последние пять—шесть лет рынок бытовой звукоспроиждающей аппаратуры в странах СНГ явно насытился различной зарубежной техникой, и сегодня далеко не каждый аудиофил, тем более радиолобитель, поверит “на слово” рекламе о ее достоинствах, даже если речь идет о классе High End. К сожалению, очень многие, вложив немалую сумму в покупку, например, УМЗЧ той или иной фирмы, обнаруживают, что основное его достоинство — всего лишь красивый дизайн, но отнюдь не качество звука.

Известную роль в дезориентацию покупателей вносят появившиеся в последние годы красочные журналы для аудиофилов. В них почти все материалы рассказывают об особенностях аппаратуры, опираясь на данные, предоставляемые рекламодателями, как правило, в “розовом” цвете. Что ж, реклама, как известно, двигатель торговли, но настоящий любитель звукоспроижения, отличающийся критическим складом ума, всегда способен разоблачить, что такое “хорошо”, что такое “плохо”.

Москвич Николай Клименко, один из читателей “Радио”, с большим сомнением воспринял рассуждения и голословную критику экспертов журнала “АУДИО МАГАЗИН” (далее “АМ”) по поводу УМЗЧ высокой верности (далее УМЗЧ ВВ), описанного в [1]. В частности, он попросил прокомментировать некоторые суждения (в рубрике “Почта” — “АМ”, 1996, № 4, с. 3, 4).

Ознакомившись с заметками в “АМ”, могу отметить, что эксперты В. Зуев и С. Куниловский, на мой взгляд, в схемотехнике разбираются, мягко говоря, не очень хорошо. Так, например, В. Зуев, оценивая схемотехнику УМЗЧ ВВ, пытался доказать, что (цитирую) “микросхема на входе усилителя... наверняка украдет виртуальную глубину стереопанорамы, столь необходимую для создания эффекта присутствия” (имеется в виду быстроедействующий ОУ К574УД1 с входным каскадом на полевых транзисторах). Уместно спросить, почему именно этот ОУ “украдет глубину”, а десяток ОУ, через которые звуковой сигнал проходит до УМЗЧ в магнитофоне, CD-плеере или любом другом источнике сигнала (даже в “ламповых” CD-плеерах ЦАП выполнен, как должно быть известно и эксперту, на твердотельной ИМС, внутри которой несколько ОУ), будут вести себя “порядочно” и ничего “не украдут”?

Далее эксперт “АМ” старается убедить нас в “практически невозможном получении хорошего звучания в любительских условиях”, поскольку “для хорошего воспроизведения звука требуются изготовленные по специальной технологии дорогие “хай-файные” проводники, переключатели, сложные способы их соединения (бескислородная пайка, спецприпой)”. Он оправдывает “смешную” цену усилителей фирм Audio Note (\$120400) мощностью 17 Вт и Kegoa (\$247000) мощностью 45 Вт, а также, очевидно, соединительных кабелей с некристаллической структурой проводников стоимостью в несколько сотен долларов.

Из курса физики известно, что любой контакт металла с металлом (при наличии хотя бы тончайшей оксидной пленки) можно рассматривать как нелинейный элемент электрической цепи. И эта нелинейность способна ухудшить звучание систем высокой верности. Но мне, например, трудно поверить, что В. Зуев слышал реальную работу УМЗЧ ВВ и тем более сколь-нибудь знаком с его схемой, поскольку именно вопросом устранения нелинейности соединительных проводов, контактов разъемов и реле при разработке этого усилителя было уделено особое внимание. В частности, в усилитель введен специальный каскад, компенсирующий не только нелинейность, но также активную и реактивную составляющие распределенного сопротивления соединительных проводов, а цель общей ООС выполнена так, что компенсирует нелинейность “холодных” контактов реле коммутации выхода УМЗЧ и разъемов. Другими словами, те отрицательные факторы, о которых упоминает В. Зуев и которые способны ухудшить звучание, в УМЗЧ ВВ устранены наиболее эффективным способом — схемотехнически.

Не могу согласиться и с утверждением, что “любительство в звукотехнике не может сейчас конкурировать с фирменной аппаратурой... по качеству звука”. Если речь идет о дизайне и исполнении корпуса — да, тут любителю трудно тягаться с промышленностью. Но если говорить о качестве звука, то сегодня даже радиолюбителю со средней подготовкой вполне под силу собрать УМЗЧ ценовой категории \$300—500, затратив при этом всего \$40...50. Но для этого надо быть радиолобителем и не следо-

вать совету В. Зуева “лучше купить готовый аппарат”.

Несколько претенциозен, думается, и отзыв эксперта “АМ” о том, что “г-н Сухов с большим опозданием обратил внимание на схемную экзотику некоторых зарубежных фирм, не отличающихся качеством звучания своих изделий (имеются в виду Kenwood и Akai. — Примеч. автора) и... опоздал примерно на 10 лет”. Но почему же тогда “АМ” обсуждает конструкцию семилетней давности как наиболее популярную и до сих пор не претворенную в параметрам? Для мира электронной техники это большой срок.

Завершая изложение моего мнения о заметках в “АМ”, хочу отметить, что сами по себе такие журналы, конечно, полезны. Но многие утверждения отдельных авторов статей могут показаться бесспорными лишь тем читателям, которые, простите, не в состоянии отличить транзистор от резистора. На людей же, разбирающихся в схемотехнике аудиоаппаратуры, некоторые статьи в “АМ” производят жалкое впечатление. Убеден, что учить кого-то можно в том случае, когда сам досконально, в мельчайших подробностях, знаешь то, о чем пишешь.

В своем письме в “Радио” Н. Клименко интересовался также “философией”, которой я придерживался при разработке УМЗЧ ВВ, и проведением экспертных прослушиваний. Так вот, этот усилитель разрабатывался как оконечное звено стенда для субъективной экспертизы звучания CD-плееров по заданию одной из испытательных лабораторий. Стояла задача выполнить конструкцию на отечественной элементной базе и обеспечить выходную мощность 100 Вт на нагрузке 8 Ом (студийные мониторы фирмы JBL) при уровне искажений и шумов на 10...20 дБ ниже, чем у CD-плееров. Повторив на отечественных элементах до десятка вариантов УМЗЧ ведущих западных фирм, убедился, что на комплектарных транзисторах серий КТ818, КТ819 с низкой граничной частотой не удастся получить приемлемого (по ТЗ — не более 0,001%) уровня нелинейных искажений на высшей частоте звукового диапазона. Фазовый сдвиг, создаваемый этими транзисторами уже на звуковых частотах (т. е. на один—два порядка ниже, чем у зарубежных), вынуждал вводить для обеспечения устойчивости более глубокого частотно-фазовой коррекцию, что, в свою очередь, ограничивало глубину ООС на высших частотах и ухудшало линейность.

Проблему удалось решить, полностью отказавшись от включения транзисторов по схеме с ОЭ. Была введена коррекция по опережению, компенсирующая формируемый транзисторами выходного каскада полюс на АЧХ усилителя с разомкнутой ООС. В результате требования заказчика по линейности были выполнены с большим запасом во всем звуковом диапазоне и усилитель был принят в эксплуатацию.

Но затем обнаружилось (я участвовал как “слухач” в большинстве субъективных испытаний), что проигрываемый компакт-диск звучит через мониторы (студийную АС), соединяемые с УМЗЧ разными кабелями, по-разному! Тогда, тщательно исследовав феномен, мы поняли, что те тысячные доли процента искажений, которые давал УМЗЧ, ничто по сравнению с искажениями, создаваемыми

соединительными кабелями с разъемами. Замена разъемов на позолоченные, а обычные соединительные провода — на специальные с "некристаллической" структурой (\$250 за витую пару длиной 4 м), лишь частично решила проблему — искажения уменьшились в несколько раз, но не исчезли. Тогда, после ряда экспериментов со студийными усилителями Kelwood с системой "Sigma Drive", попробовал ввести в УМЗЧ каскады компенсации полного импеданса проводов и нелинейности "холодных" контактов. Результат превзошел все ожидания — искажения исчезли, причем независимо от качества (и цены!) соединительных проводов и разъемов. Так родилась конструкция, описанная в "Радио" № 6, 7 за 1989 г.

Кстати, настоятельно рекомендую всем любителям высококачественного звука установить упомянутую схему компенсации в свои УМЗЧ. Это сделать несложно: потребуются лишь три прецизионных (или точно подобранных) резистора и один ОУ. Его тип особого значения не имеет, это может быть и К140УД6, и К157УД2.

На рис. 1 показаны функциональные схемы типовых УМЗЧ: рис. 1, а — с входным каскадом на дискретных элементах, рис. 1, б — с входным каскадом на ОУ, остальные каскады "упрятаны" в блок А2. Вход цепи компенсации соединяют с общим выводом прямо на клемме громкоговорителя, а выход через резистор $R_{доп}$, сопротивление которого должно быть точно равно сопротивлению резистора R_2 в цепи общей ООС УМЗЧ, — с инвертирующим входом входного каскада. Резисторы в компенсаторе следует использовать прецизионные (с погрешностью не более 1%).

Принцип работы такого компенсатора — измерение падения напряжения на одном из соединительных проводов, удвоение его и "добавка" к обычному сигналу на выходе УМЗЧ, что эквивалентно устранению проводов между усилителем и громкоговорителями. Такое схемное решение не требует какого-либо наживания при замене соединительных кабелей или акустических систем. Попробуйте, и вы убедитесь, что эффект превзойдет все ваши ожидания (конечно, если ваш усилитель, источник сигнала и особенно акустические системы достаточно высокого качества).

Отвечая на вопрос о субъективном сравнении звучания УМЗЧ ВВ, хочу отметить, что я признаю только "анонимные" тесты, проводимые по системе так называемой А-В-Х экспертизы, в ходе которой сравниваемые устройства А и В невидимы экспертам и переключаются случайным образом (скажем, "А", затем "В", а последующие переключения "Х" не объявляются).

Так вот, в ходе А-В-Х экспертизы сравнения УМЗЧ ВВ был лучше или не хуже имевшихся в распоряжении испытательной лаборатории Kelwood KA-500, Quad 405, Yamaha A-1 стоимостной категории \$400 — 1000 и намного лучше "Брига", "Одиссея-010" или лампового "Прибоя". Кстати, именно А-В-Х экспертиза позволила воочию убедиться, как многие знатоки High End теряли способность отличить компоненты классов Hi-Fi и High End, как только объект их безграничной, но "слепой" любви исчезал за черную перегородку.

Я, конечно, не обладаю идеальным музыкальным слухом, но, на мой взгляд, многое из того, что "крутится" сейчас вокруг слова "High End", похоже на религиозный диспут ("верю — не верю"), а ажиотаж нагнетается искусственно с единственной целью — стимулировать сбыт.

В связи с этим вспоминается случай с выпуском в свое время фирмой Nakamichi "специального" популярного магнитофона "Nakamichi 1000 ZXI", в котором все детали, вплоть до радиаторов блока питания, были позолочены! Добавило ли это качества звуку — читатели догадываются сами, а вот цена выросла примерно втрое по сравнению со стандартной моделью.

Говоря о современном высококачественном звукопроизводстве, не могу не поделиться некоторыми наблюдениями, которые также не соответствуют "розовым" оттенкам.

Ламповые усилители. Они, действительно, в большинстве своем звучат приятнее, чем транзисторные. Но "приятнее" не значит точнее. Выходной трансформатор — устройство с гораздо большей (из-за петли гистерезиса и конечной индукции насыщения магнитопровода) нелинейностью, частотными и фазовыми искажениями, чем транзистор в линейном режиме. "Чистые ламповики", понимающие проблему, создали

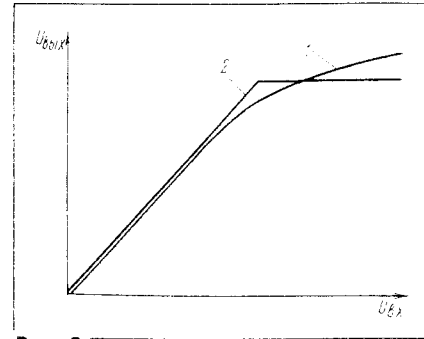


Рис. 2

бестрансформаторные УМЗЧ на 6С33С, но это — исключение из правила. Именно из-за больших фазовых искажений ламповый УМЗЧ затруднительно охватить глубокой ООС, что и проявляется в конечном итоге в относительно большом выходном сопротивлении (единицы ома, у транзисторных — обычно сотые доли ома), а также сравнительно плавном ограничении при перегрузке (на рис. 2 кривые 1 и 2 изображают типовые амплитудные характеристики соответственно лампового и транзисторного усилителей).

Попробуйте искусственно увеличить выходное сопротивление любого "среднего" транзисторного УМЗЧ до 2...4 Ом (для этого достаточно последовательно с акустической системой включить 10—20-ваттный резистор с таким сопротивлением) и не превышайте четверти его номинальной мощности, чтобы кратковременные пики сигнала не обрезались. Вы убедитесь, что звук в 95% случаев приобретет "ламповую мягкость". Причина кроется в том, что многие (но не все!) громкоговорители обеспечивают минимум интермодуляционных искажений (по звуковому давлению) не при близком к нулю выходном сопротивлении УМЗЧ, а при его величине не менее 3...5 Ом. Однако такое сопротивление нарушает линейность АЧХ и ФЧХ пассивных разделительных фильтров акустических систем, которые обычно проектируются в расчете на нулевое значение выходного сопротивления УМЗЧ.

Но ведь это проблемы не усилителей, а акустических систем! Именно акустики должны позаботиться при разработке систем не только о линейности АЧХ и ФЧХ по звуковому давлению на синусоидальном сигнале, но и о минимизации акустических интермодуляционных искажений при $R_{вых} = 0$ или, что хуже, нормировать $R_{вых}$, скажем, величиной 3 Ома и рассчитывать разделительные фильтры на такое сопротивление источника.

Еще одно распространенное заблуждение аудиофилов: якобы компакт-диски (КД) обеспечивают больший динамический диапазон, чем аналоговая компакт-кассета (КК). При этом в качестве основного аргумента приводится формула для расчета шумов квантования: $N_{кв} = 6N + 1,8$ [дБ], где N — разрядность квантования по уровню.

Для КД принято $N = 16$, следовательно, теоретический уровень шумов квантования $N_{кв КД} = 6 \times 16 + 1,8 = 97,8$ дБ. С чьей-

См. также статью С. Агеева "Должен ли УМЗЧ иметь низкое выходное сопротивление?" в "Радио", 1997, № 4, с. 14—16. — Примеч. ред.

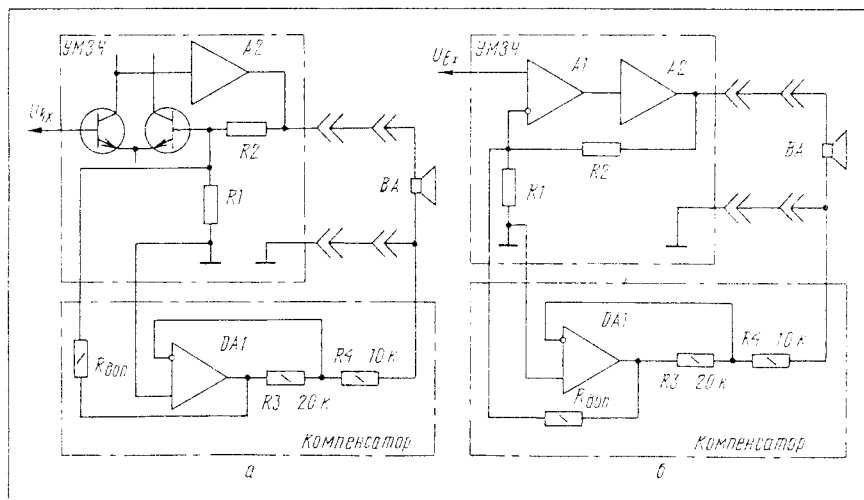


Рис. 1

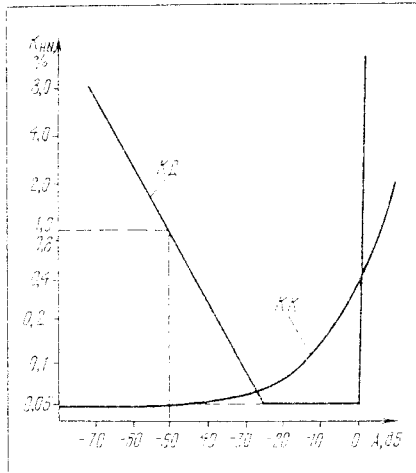


Рис. 3

то легкой руки это значение и принимают за динамический диапазон КД. Учитывая, что у лучших КК отношение сигнал/шум составляет (без систем шумопонижения) порядка 55 дБ, делают вывод о выигрыше КД более чем 40 дБ.

Но нельзя забывать, что принципы аналоговой КК и цифрового КД в корне отличаются, поэтому применять для оценки динамического диапазона КД методы измерения КК некорректно. В КК динамический диапазон снизу действительно определяется уровнем шумов, но это не значит, что так же обстоит дело и у КД! Взглянув на рис. 3, на котором изображены типовые зависимости коэффициента нелинейных искажений $K_{нл}$, КК и КД в функции уровня сигнала, можно легко заметить, что в аналоговой записи с уменьшением уровня $K_{нл}$ монотонно убывает, в то время как у цифровой записи возрастает, стремясь к 40% (поскольку увеличивается относительный размер ступеньки квантования).

Если у аналоговой записи в спектре искажений преобладают не очень режущие слух третья и пятая гармоники, то у цифровой дело обстоит гораздо хуже — множество комбинационных составляющих не образуют привычного для слуха гармонического ряда, и их действие становится заметно уже при уровнях около 1%. Легко убедиться, что при уровнях сигнала порядка -50 дБ и ниже искажения сигнала КД переходят порог допустимых 1%. Снизу его динамический диапазон оказывается ограничен не

шумами квантования, а нелинейными искажениями. И из теоретических 97,8 дБ остается только 50.

Но это еще не все! При перегрузке КК нелинейные искажения пропорциональны квадрату уровня записи (при увеличении уровня в два раза коэффициент гармоник возрастает всего в четыре раза), поэтому их кратковременное появление на пиках сигнала незаметно на слух. У КД при превышении номинального входного уровня аналого-цифрового преобразователя (АЦП) всего на 2...3 дБ нелинейные искажения возрастают в тысячи раз, поэтому в реальной аппаратуре цифровой записи за номинальный принимают уровень на 12...15 дБ (т. е. на пик-фактор реального музыкального сигнала) меньше предельного входного для АЦП. В результате из исходных 97,8 дБ остается всего 35...37 дБ реальных, что на 20 дБ меньше, чем у КК.

Вот почему, несмотря на субъективное отсутствие "шипов", многие фанатам, воспроизводимые с КД, приводят к быстрой утомляемости и имеют заметно худшую "глубину стереопанорамы", чем та же фонограмма, воспроизводимая с аналоговой виниловой грампластинки или качественной КК. Кстати, современные грампластинки, выполненные по технологии Direct Metal Mastering, обеспечивают динамический диапазон 60...65 дБ и высоко ценятся аудиофилами.

Нельзя не упомянуть и еще о двух "наездах" на КК — со стороны фирм-разработчиков цифровой компакт-кассеты DCC и мини-диска MD. С момента появления DCC (1989 г.) и MD (1993 г.) фирма Philips — разработчик DCC — пыталась убедить аудиофилов, что именно DCC через 1—2 года полностью вытеснит КК. С аналогичным заявлением, но уже в отношении MD, выступала и Sony — разработчик MD. Но... время шло, а КК до сих пор является основным бытовым носителем аудиопрограмм с возможностью записи. Более того, если вначале формат DCC был поддержан мировым гигантом Matsushita и рядом других известных фирм, то сегодня DCC производит только Philips, да и то всего несколько моделей (на фоне десятков моделей КК).

Фирма Sony, также удрученная субъективной оценкой качества звучания, проведенной немецким журналом "Audio", в результате которой MD распо-

ложился на последнем месте с 45 баллами из 100 после разделивших 1—2-е места проигрывателя компакт-дисков (85 баллов) и кассетного магнитофона (85 баллов) и занявших 3—4-е места проигрывателя виниловых грампластинок (80 баллов) и DCC-магнитофона (80 баллов), начала лихорадочно совершенствовать систему сжатия цифровых аудиоданных, в результате чего за 4 года было рождено четыре(!) версии алгоритма сжатия ATRAC 1 — ATRAC 4, причем предыдущие не совместимы со всеми последующими (т. е. "старые" MD-плееры не способны воспроизводить "новые" записи)...

Тут самое время вспомнить, что в DCC и MD применено, как и в КД, 16-разрядное квантование по уровню, но для снижения потока записываемых на носитель данных использовано цифровое сжатие по алгоритмам соответственно PASC (Precision Adaptive Subband Coding) и ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding), уменьшающих поток цифровых данных с 2 Мбит/с до 384 кбит/с и 300 кбит/с, т. е. и DCC, и MD принципиально менее точно воспроизводят звук, чем КД.

Прогноз — дело неблагодарное, но справедливости ради давайдем вспомним судьбу еще одного (теоретически превосходящего по качеству КД) формата R-DAT, которому в момент его появления в 1987 г. также прочили место наследника КК. Показателен в этом смысле довольно точный прогноз автора этих строк, опубликованный в [2]. В то время, как практически вся зарубежная и отечественная пресса писала о том, что к 1991 г. R-DAT полностью заменит КК, это была, пожалуй, единственная публикация, в которой R-DAT отводилось скромное место разве что в полупрофессиональных студиях звукозаписи.

В заключение, пользуясь случаем, выражаю глубокую признательность всем корреспондентам и почитателям, чья моральная, информационная и материальная поддержка сделали возможной разработку многих моих конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухов Н. УМЗЧ высокой верности. — Радио, 1989, № 6, с. 55—57; № 7, с. 57—61.
2. Сухов Н. Что такое R-DAT. Радиотехнический журнал. — М.: ДОСААФ, 1989, с. 165—176.

ПАМЯТИ НАШЕГО АВТОРА



30 мая 1998 г. ушел из жизни заведующий лабораторией кафедры Радиовещания и электроакустики Московского технического университета связи и информатики Владимир Иосифович Шоров.

Талантливый ученый-акустик, горячо любивший свою профессию и посвятивший ей всю жизнь, Владимир Иосифович отличался высокой эрудицией и исключительным трудолюбием.

Свою трудовую деятельность Владимир Иосифович начал в 1953 г. после окончания Московского электротехнического института связи в научно-исследовательском секторе института.

Изумительная доброта и тактичность в общении с людьми, удивительная отзывчивость и готовность прийти на помощь каждому, кто в этом нуждался, принесли Владимиру Иосифовичу заслуженную любовь друзей и коллег. Он воспитал це-

лую плеяду учеников, его ценили и уважали студенты.

С журналом "Радио" Шоров сотрудничал более двух десятков лет. Его блестящие конструкторские разработки принесли ему огромную известность среди любителей высококачественного звучания. Многие статьи радиолюбителей увидели свет благодаря тактичным, дружелюбным советам рецензента Шорова.

С 1990 г. Владимир Иосифович возглавлял СКБ АО "Янтарь", где было развернуто производство АС пространственного звучания. С их конструкцией наши читатели смогли познакомиться на страницах журнала в 1997 и 1998 гг. Уникальность мышления и высокий творческий потенциал Владимира Иосифовича восхищали всех кто его знал. И как жаль, что многим его замыслам не суждено теперь осуществиться.

Из жизни ушел прекрасный человек, оставив о себе самые добрые и теплые воспоминания.

Редакция журнала "Радио"