

УДК 621.396(03)

# ЭКОЛОГИЧЕСКИ АУТЕНТИЧНЫЙ АУДИО КОМПОНЕНТ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

А.С. Чудновский<sup>1</sup>,  
И.Н. Чудновская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Научно-производственная  
корпорация «Системы прецизионного  
приборостроения»,

<sup>2</sup>Московский государственный  
университет имени М.В. Ломоносова

Обсуждается вопрос качества звуковоспроизведения и обоснован вариант технического построения корректора для виниловых пластинок класса «High-Ecology».

**Ключевые слова:** высокая экология, корректор, психоакустика восприятия, постоянная нарастаний, глубина обратной связи, коэффициент нелинейных искажений.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из фундаментальных сфер культурной жизнедеятельности следует считать музыку. Она способна удовлетворить высочайшие эстетические потребности, без которых невозможна творческая деятельность в различных сферах. Наибольшее влияние на нас оказывает прослушивание живой музыки в концертных залах. Однако воспользоваться этим мы можем далеко не всегда. Предлагаемые передачи по радио и телевидению, записи на различных носителях, к сожалению, далеко не всегда способны передать всю полноту аудио образа концертного зала. Поэтому обсуждение вопросов аутентичности звучания концертного зала, предъявляемых к техническим устройствам, нам кажется своевременным. Остановимся на одном, на наш взгляд, наиболее важном компоненте звуковоспроизведения – аналоговом корректоре для виниловых пластинок.

Возникший интерес к виниловым грампластинкам оправдан их более высоким качеством звуковоспроизведения по сравнению с цифровыми носителями. Детальное объяснение этих качеств изложено в [1, 3]. В [3] сформулированы основные требования к аппаратуре звуковоспроизведения, позволяющие максимально приблизить качество звучания к живой музыке. Эти требования удалось формализовать в виде технических характеристик и схмотехнических решений. Аппаратуру такого класса авторы назвали «High-Ecology». Эта аппаратура, на наш взгляд, обладает существенно более высокими потребительскими параметрами, чем

## ECO-AUTHENTIC AUDIO COMPONENT REPRODUCTION OF SOUND

L.S. CHUDNOVSKY,  
I.N. CHUDNOVSKAYA

The variant of the technical construction of the corrector for vinyl plates of the «High Ecology» class is substantiated.

**KEYWORDS:** high ecology, corrector, psychoacoustics of perception, constant of increase, depth of feedback, coefficient of nonlinear distortions.

новый класс аппаратуры «High-End». Работе [3] присужден диплом Международной премии по экологии в 2017 г. по разделу музыка. Перейдем к обсуждению технических характеристик, предъявляемых к аутентичным устройствам звуковоспроизведения [3].

## КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА

Основным критерием качественного звуковоспроизведения является повышенное требование в верхней частоте и отсутствию параметрических искажений [3] (зависимости параметров электронных компонентов от уровня выходного напряжения).

Высокая верхняя частота свыше 400 кГц звуковоспроизведения требуется для корректной передачи импульсов возбуждения музыкального инструмента, а также реверберационных отражений. Эту оценку можно получить из пространственного разрешения нашей аудио системы на частоте 1 кГц в 2<sup>о</sup>, что равносильно требованию ширины полосы частот более 180 кГц [2]. С учетом точности определения фазовой задержки 50% требования к общей полосе пропускания составляют 400 кГц. Немаловажным параметром является верхняя полоса воспроизведения звуковых колонок. Современные звуковые колонки имеют верхнюю полосу воспроизведения до 60 кГц, что приводит к совершенно иному эстетическому восприятию аудио образа.

Из-за особенностей нашего слухового восприятия нелинейные искажения не являются доминирующим компонентом, влияющим на качество звучания, и мо-

гут находиться в диапазоне 0,5–3%, поскольку собственные нелинейные искажения нашего восприятия для сигналов на уровне аддитивных помех около 14% [3]. Восприятие сигналов на уровне аддитивных помех аналогично разделению звучания различных музыкальных инструментов в прослушиваемом аудио образе.

Минимизация параметрических искажений позволяет повысить внутренний динамический диапазон и получить естественное звучание в области высоких частот. Наличие параметрических искажений приводит к модуляции высокочастотных составляющих по амплитуде низкочастотными сигналами. Модулированные высокочастотные составляющие субъективно воспринимаются индивидом более громко, что заметно снижает уровень мощного низкочастотного сигнала, поскольку дополнительно ослабевает «маскировка назад», когда мощные низкочастотные сигналы полностью блокируют высокочастотные на временном интервале до 100 мс [2, 3]. Кроме того, наличие параметрических искажений приводит к появлению дополнительных неприятных призвуков при воспроизведении хорового пения или больших оркестров, которые воспринимаются как звуки битого стекла или хрипоты.

Параметрические искажения возникают из-за зависимости технических параметров ламп или транзисторов от уровня выходного напряжения. Уровень параметрических искажений снижается с повышением глубины обратной связи. В [3] дано корректное определение качества влияния параметрических искажений на электронные каналы через корректное определение постоянной времени нарастания

$$B = \frac{A_{max} - A_{min}}{t_{max} - t_{min}} = \left[ \frac{B(A)}{\text{мкс}} \right], \quad (1)$$

где:  $A_{max}$  – максимальное напряжение (ток) на выходе усилителя при заданном коэффициенте нелинейных искажений;  $A_{min}$  – минимальное напряжение (ток) на выходе усилителя при заданном отношении сигнал/шум;  $t_{max}$  – время фронта для выходного сигнала  $A_{max}$ ;  $t_{min}$  – время фронта для выходного сигнала  $A_{min}$ .

Определение (1) поясняет, что постоянная времени нарастания связана с параметрическими искажениями усилителя и при их отсутствии стремится к бесконечности, т.е. отсутствию зависимости времени фронта усилителя от уровня выходного напряжения. Ориентировочные значения  $B$  для класса «High-Ecology» более  $10^3$  В/мкс.

Глубина обратной связи в устройствах звуковоспроизведения  $F$  не должна быть глубокой, поскольку временной интервал  $T$  выхода на заданный коэффициент нелинейных искажений равен  $T = F(2\pi f_{max})^{-1}$ , где:  $f_{max}$  – максимальная частота звуковоспроизведения с обратной связью [3]. Например, при полосе  $f_{max} = 20$  кГц, и  $F = 10^3$  время выхода составит 8 мс, в то время как длительность импульса возбуждения музыкального инструмента на частоте 500 Гц будет всего 1 мс. В таком

электронном канале импульс возбуждения практически искажен, а именно импульсы возбуждения передают всю полноту звучания музыкального произведения. Звучание такого усилителя будет носить характер заниженной полосы звуковоспроизведения, т.е. приведет к снижению прозрачности звучания.

Выбор глубины обратной связи должен учитывать: уровень параметрических искажений (повышение прозрачности звучания), коэффициент нелинейных искажений, границы верхней полосы пропускания каскада свыше 400 кГц. Учитывая, что коэффициент нелинейных искажений каскада без обратной связи в режиме максимального сигнала достигает 10–20%, глубина обратной связи не должна превышать 5–10 раз [3]. Снижение параметрических искажений достигается полным отказом от генераторов тока в усилительных каскадах и использованием операционных усилителей [1].

#### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании корректора необходимо учитывать редкие броски напряжений, которые могут достигать 2–3 В. Корректор, выполненный по стандартной схеме, когда в цепи обратной связи вводятся пропорционально интегрирующая цепочка с нижним ограничением частоты 500 Гц и интегрирующая цепочка с частотой среза 2000 Гц, имеет ряд недостатков. В таком усилителе с увеличением частоты увеличивается глубина обратной связи, требующая повышенной отдачи величины выходного тока на высоких частотах. Это приводит к увеличению нелинейных искажений выходного каскада в области высоких частот и затрудняет отработку бросков напряжений на входе. Простейшим построением корректора является использование индуктивности магнитной головки с соответствующим подбором входного сопротивления усилителя для формирования интегрирующей цепочки с частотой среза 2000 Гц [3]. При таком построении уровень входного напряжения на частоте 20000 Гц снижен в 10 раз.

Принципиальная схема корректора представлена на рис. 1. Предлагаемый корректор не удовлетворяет полным требованиям, предъявляемым к аппаратуре «High-Ecology», однако при всей его простоте качество звучания оказалось значительно лучше, чем у большинства корректоров высокого класса, предлагаемых рынком производителей аудио аппаратуры.

На транзисторе  $T_1$  собран инвертирующий усилитель с низким входным сопротивлением. Интегрирующая цепочка с частотой среза 2000 Гц формируется резистором  $R_1$ , внутренним сопротивлением  $r$  и индуктивностью  $L$  магнитной головки. Постоянная времени входного каскада  $\tau = L(r + R_1)^{-1} = 75$  мкс соответствует интегрирующей цепочке с частотой среза 2000 Гц. Цепочка  $R_2, R_3, C_2$  формирует пропорционально интегрирующий фильтр с нижней частотой среза 50 Гц и выравнивает амплитудно-частотной характеристики на частоте выше 500 Гц. Коэффици-

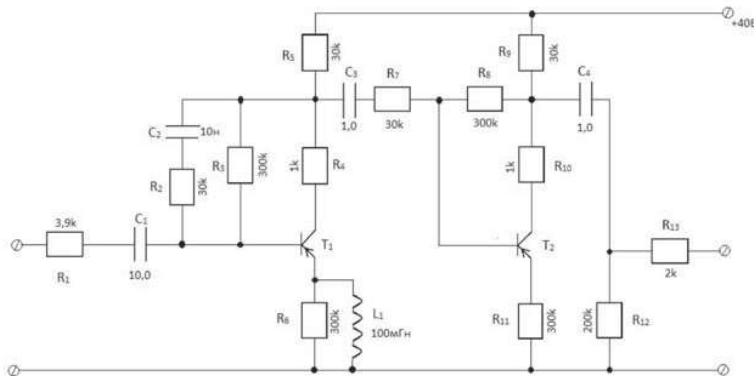


Рис. 1. Принципиальная схема корректора

ент усиления транзистора  $T_1$  без обратной связи составляет  $K_{100c}=600$ , а на частоте 1000 Гц с обратной связью  $K_{100c}=R_2(R_1+r)-1 \approx 6$ . Таким образом, глубина обратной связи на частоте 50 Гц  $F_{50}=10$ , а на частоте 500 Гц  $F_{500}=100$ . Для выравнивания глубины обратной связи на частотах 50 Гц и 500 Гц введена цепочка  $R_6, L$ . Коэффициент усиления транзистора  $T_2$  с обратной связью составляет  $K_{20c}=R_8/R_7=10$ , а без обратной связи  $K_{200c}=1000$ . Введение в цепь эмиттера транзистора  $T_2$  резистора  $R_{11}$  позволило ввести две обратные связи по напряжению и току  $F_{20cU}=F_{20cI}=10$ , что значительно снизило требования к глубинам обратной связи.

Коэффициент нелинейных искажений корректора при выходном напряжении 1 В не превышает 2%, общий коэффициент усиления на частоте 1000 Гц составляет  $K_U=60$ , что достаточно для его подключения к мощным усилителям низкой частоты. Верхняя частота усилителя при подаче на вход напряжения от источника с малым выходным сопротивлением, начиная с частоты 2000 Гц, составляет около 200 кГц. Постоянная нарастания В корректора не менее 500 В/мкс. От резистора  $R_1$  существенно зависит амплитудно-частотная характеристика корректора. Значение резистора  $R_1$  выбрано для магнитной головки фирмы «Оттофон» серии ОМ. Советуем оценить качество звучания при значениях резистора  $R_1=3$  кОм, 3,9 кОм, 5,1 кОм. При использовании магнитных головок «Audio-Technica» резистор  $R_1$  следует уменьшить до 4,7 кОм.

Транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  германиевые типа ГТ309, ГТ310, ГТ308, П416 с  $\beta \approx 50-100$  (в авторском варианте использовались транзисторы ГТ309Е). Можно использовать и кремниевые транзисторы п-р-п, но при этом полярность питания и электролитических конденсаторов меняется. Электролитические конденсаторы следует использовать типа К53, а  $C_2, C_3, C_4$  бумажные, конденсатор  $C_2$  желателен набрать из слюдяных конденсаторов с погрешностью не более 5%. Значение  $C_1=10$  мкФх10В,  $C_2=0,01$  мкФ,  $C_{3,4}=1$  мкФх25В. Резисторы любые с мощностью от 0,125 Вт, но значения резисторов  $R_1, R_2, R_3$  в разных каналах следует

выбирать с минимальным разбросом. Значение  $R_1=3,9$  кОм,  $R_{2,5,7}=36$  кОм,  $R_{3,8}=300$  кОм,  $R_{6,11}=300$  Ом,  $R_{12}=200$  кОм,  $R_{13}=2$  кОм. Индуктивность  $L_1=0,1$  Гн. Питание должно быть стабилизированное или с использованием транзисторного дросселя. Оба канала корректора должны содержать конденсатор, включенный в цепь питания, емкостью 6800 пФ, желателен слюдяной. Индуктивность  $L_1$  желателен применять в тороидальном исполнении для снижения наводок с собственным омическим сопротивлением не более 30 Ом. Если такую индуктивность приобрести не удастся, то цепочку  $R_6L_1$  следует коротить. При этом возрастает глубина обратной связи на частоте 1000 Гц и некоторые нюансы исполнения будут не слышны. Для улучшения звучания при отсутствии индуктивности  $L_1$  необходимо уменьшить значение резистора  $R_6$  до 100 Ом, но при этом произойдет уменьшение усиления на частотах ниже 150 Гц. Корректор не требует наладки и уровней напряжения на коллекторах транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  должны находиться в интервале 4–10 В. Плату корректора следует поместить в экранированный металлический корпус.

**О Б С У Ж Д Е Н И Е**

При прослушивании грамзаписей с нашим корректором в первую очередь оцените качество воспроизведения симфонических и джазовых произведений. Затем оцените звучание григорианского хора и больших джазовых и эстрадных оркестров. Следует учитывать, что многое зависит от исходного качества самой грамзаписи. Возможно, количество любимых фонограмм у Вас уменьшится. Также тщательно подойдите к выбору усилителя мощности и звуковых колонок. Кроме того, прослушивание следует проводить в хорошем настроении, т.к. в состоянии усталости наше аудио восприятие изменяется.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Сухов Н. Hi-Fi правда и High-End сказки // Радио-хобби. 1988. №2. С 18–20.
2. Цвиккер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. М., 1971. С. 255.
3. Чудновский А.С., Чудновская И.Н. Коммуникативные особенности экологической аутентичности технических устройств звуковоспроизведения. М.: Изд-во РАЕН, 2017. 104 с.

**Чудновский Леонид Семенович**, д.т.н., г.н.с. АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»

**Чудновская Ирина Николаевна**, к.ф.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Социология коммуникативных систем» Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

✉ 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53, тел.: +7 (916) 430-96-37, e-mail: lsc2004@mail.ru