

ДЕКАБРЬ

1997

Hi-Fi, High End AUDIO

ДВА МИРА-
ДВЕ СИСТЕМЫ
РАЗМЫШЛЕНИЯ
О КОНЦЕНТУАЛЬНОМ
И РЕАЛЬНОМ
ПО СЛЕСАМ ВИЛЬЯМСОНА



НОВОГОДНИЙ
"МАТ"



АХ, МЯОЗУКА,
МЮЗИКЛ...

НОВОГОДНИЙ "МАГ"

О концептуальности продаваемого

Своим рождением однотактный усилитель мощности «Маг-3.5» обязан неутрачивающим спорам о том, что лучше: SE или PP. Я спроектировал его в ноябре 1996 года сразу после того, как вполне наслаждался звучанием только что законченного (после двух с половиной лет работы) SE-усилителя «Maestro Grosso» (см. «Class A», №11, 1996; Hi-Fi & Music, №4, 1997 г.). Меня, конечно же, подначивали все, кто успел убедиться в уникальности передачи басового регистра усилителем «Maestro Grosso». Их подначка звучала вроде бы убедительно: «Конечно, при выходном трансформаторе массой 40 кг, эффективно работающем ниже 0,5 Гц, любые SE- и PP-усилители будут непревзойденными. А ты вот попробуй, как все, скажем, на базе силового трансформатора ТС-180 от телевизора! Слабо?!»

Пришлось принять вызов. 30 декабря был закончен опытный образец мощностью 3,5 Вт на обычных российских деталях и без ООС. В это же время другой разработчик (проповедник иной технической концепции) изготовил свой опытный образец SE-усилителя мощностью 8 Вт на специально отобранных деталях. Сразу после празднования Нового 1997 года состоялась «битва титанов» SE-мощности, причем третьим был «Maestro Grosso» (6 Вт), который, как вы уже догадались, и победил, ибо в нем максимально полно представлена моя концепция «SAS», изложенная в этом номере журнала в первой статье цикла «Размышления о концептуальном и реальном». Победа «Maestro Grosso» зафиксирована и над 130-ваттным усилителем — это дело обычное. Он рожден для этого. Однако 3,5 Вт переиграла 8 Вт, заняв второе место (описываемые события, разумеется, имели место в действительности. Один из участников того прослушивания, представлявший 8-ваттный усилитель, теперь производит «Маг 3.5». Ирония судьбы). Теперь в достоинствах и недостатках SE-усилителя «Маг 3.5» могут лично убедиться все, посетившие салон «Гирос», причем в жестком сопоставлении и с PP-, и с SE-усилителями, в которых представлены иные технические концепции как российских, так и зарубежных производителей. Во всех моих конструкциях (независимо от цены) всегда присутствуют некоторые элементы концепции SAS, что придает им узнаваемые отличия в звучании музыки. Разумеется, что максимально принципы SAS могут быть воплощены лишь при неизбежно высокой себестоимости аппарата, а следовательно, и его цены. Таким образом, даже в простейшем SE-усилителе, схема которого без утайки представлена на рис. 1, вполне ощутим отблеск идей технической части бескомпромиссной концепции «SAS». Разумеется, в дешевом изделии приходится идти на множество компромиссов, диктуемых нашим, российским, уровнем

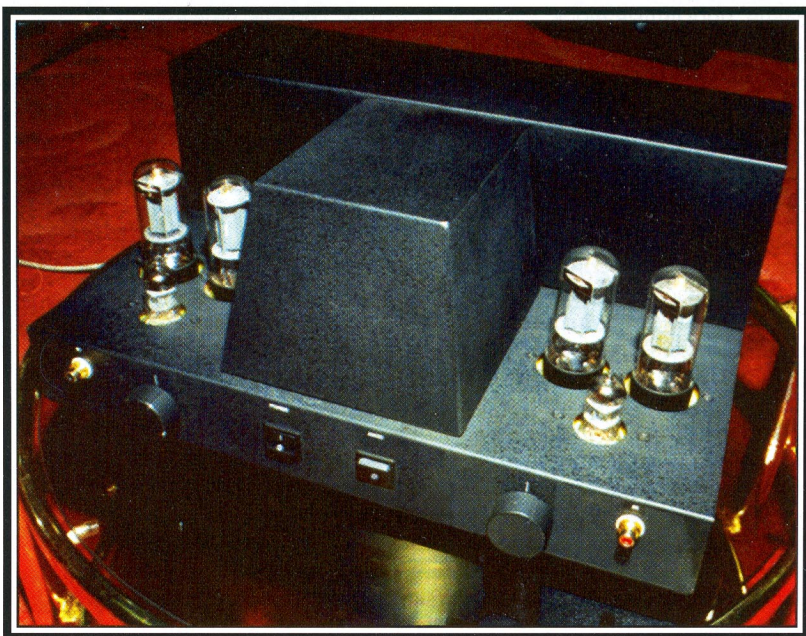
жизни и технологий производства. Кажущаяся внешне простой и типовой электрическая схема тем не менее позволяет получить у 3,5-ваттного усилителя такие динамические параметры, которые свойственны PP-усилителям мощностью 25...50 Вт.

Эти свойства «Мага 3.5» особенно наглядно проявляются при работе со сложными комплексными нагрузками: АС с низкой чувствительностью и существенно неравномерным импедансом (например, Quad ESL-63, Infinity Cappa 8.1). Чем «труднее» нагрузка АС, тем очевиднее проявляются преимущества «Мага 3.5» над более мощными и дорогими собратьями, измеряемая величина мощности которых на «статическом» сигнале (синусоиде) недостижима на реальном «музыкальном» сигнале.

Наоборот, мощность «Мага 3.5», измеряемая на статическом сигнале, невелика — не более 3,5 Вт. Однако на реальном динамическом (импульсном, если хотите) сигнале изменение мгновенных значений мощности у «Мага 3.5» существенно выше, чем у большинства традиционных изделий. На слух это воспринимается в виде ощущения повышенной мощности.

Внимательный читатель, конечно же, заметит, что об этом уже шла речь в интервью в декабрьском номере журнала «Class A» за 1996 год, где Миша Кучеренко и ваш покорный слуга отвечали на вопросы, подготовленные редакцией. Там я, пожалуй, впервые употребил термин «скорость изменения мощности».

Все реально сделанные мной конструкции имеют мощность не более 10 Вт (на синусе). Однако для слуха малоинтересно долговременное значение мощности. Этот параметр определяет «прочность» усилителя. Скорость же



изменения мощности ощущается слухом непосредственно как динамический качественный параметр. Подробнее сия тема будет затронута в цикле статей «Размышления о концептуальном и реальном». Там же будет представлен способ расчета действительно требующейся мощности усилителя для создания адекватной звуковой иллюзии и комфортного ее воспроизведения в реальных бытовых условиях.

Широкодоступный SE-усилитель «Mag 3.5», как и эксклюзивный «Maestro Grosso», всего лишь физически реализованные доказательства того, что не абсолютное значение мощности является безусловной доминантой качества усилителя, но лишь скорость ее изменения. Если схемотехнические решения не позволяют этого добиться, то никакая самая совершенная и дорогостоящая элементная база не сделает усилитель слышимо качественным, динамичным (не путать с «оглушающим»). Качественные детали могут лишь нюансно подчеркнуть достоинства схемотехники, но, к сожалению многих, не способны ее заменить. Детали усилителя можно уподобить краскам художника. При наличии достаточных средств любой маляр может позволить себе пользоваться ими. Однако не каждый маляр, приобретая дорогие краски, станет художником. Настоящий же художник в состоянии и углем, и мелом лишь несколькими скупыми линиями создать шедевр. Для этого кроме таланта и кропотливого труда, безусловно, нужен внутренний философский стержень — собственная концепция, доказательно убедительная и доступно изложенная для понимания другими людьми.

Чтобы закончить с аналогиями, позволю себе остановиться еще на одной. Дизайн и конструктивное технологическое воплощение его в корпусе усилителя подобен раме, в которую помещена картина. Конечно, хорошая картина требует и достойна соответствующей рамы. Но, безусловно, у меня вызывает дискомфорт восприятие примитивного полотна в дорогом резном багете. Однако менталитет и вкусы людей различны. Каждый имеет право их иметь и удовлетворять. Уровень интеллекта и «кошелька» редко прямо пропорциональны, чаще обратно пропорциональны. И уж совсем редко адекватны. Для таких уникальных ценителей создан «Maestro Grosso». Для тех же, у кого уровень «кошелька» пока не поспевает за интеллектом, создан «Mag 3.5». Это, конечно, не оправдывает его более чем скромный (и менее, чем элегантный) дизайн, в разработке которого я не принимал участия, т.к. для меня «Mag 3.5» — вообще не коммерческое деяние (это, как было сказано, ответ на «дуэльный» вызов и

новогодний подарок нынешнему его производителю). Пусть уж «Mag 3.5» «играет» лучше, чем выглядит, нежели выглядит лучше, чем «играет». Подобных изделий и без него уже предостаточно.

Если «Mag 3.5» будет по-прежнему, как и сейчас, пользоваться спросом, я могу публично взять на себя обязательства, во-первых, сделать ему достойный дизайн в соответствии с моим пониманием и возможностями, и, во-вторых, разделить его на два моноблока и несколько усовершенствовать схемотехнику. Это улучшит качественные показатели и потребительские свойства, но не понизит цену, конечно. Только потребительский спрос может регулировать этот процесс, т.е. необходима обратная связь: потребитель — продавец — производитель — разработчик.

Поэтому я с удовольствием использую любую предоставленную мне редакцией журнала возможность поделиться напрямую с читателями своими размышлениями и по возможности узнать их мнение о «Маге 3.5» и идее его модернизации, отчетливо понимая, что это прибавит работы и редакции, и салону «Гирос». Надеюсь, они извинят эту мою попытку спонтанного социологического исследования.

Приведу некоторые измеренные параметры изготовленного мной опытного образца «Мага 3.5», хранящегося в салоне «Гирос» и используемого для сравнений на соответствие оригиналу во время приемки копий от производителя.

Измерения производились при поддержании постоянства амплитуды входного напряжения $U_{вх} = 0,65$ В. При этом на эквиваленте нагрузки $R_{нз} = 6$ Ом выделялась мощность 3 Вт, ибо я предпочитаю измерения на полной мощности, нежели типичные измерения при малых ее значениях, которые украшают числовые показатели усилителей, но не радуют слух.

Итак, АЧХ «Маг 3.5» при мощности 3 Вт на уровне -3 дБ: 10,4 Гц ... 58 кГц.

Вариации выходного сопротивления $R_{вых}$ и демпфирующего фактора D_f , вычисленные по формулам:

$$R_{вых} = [(U_{xx}/U_n) - 1] R_n; D_f = R_{нз}/R_{вых}$$

в зависимости от частоты представлены в таблице. U_{xx} , U_n — напряжения, измеренные на выходе «Маг 3.5» соответственно при отключенной и подключенной нагрузке $R_{нз} = 6$ Ом. Расчетные значения при проектировании усилителя:

$$R_{вых} = 1,53 \text{ Ом на } f = 1 \text{ кГц;}$$

$$A_{ЧХ} (-3 \text{ дБ}): 7,5 \text{ Гц ... } 58,6 \text{ кГц;}$$

амплитудные значения скоростей нарастания сигнала V_m , В/мкс:

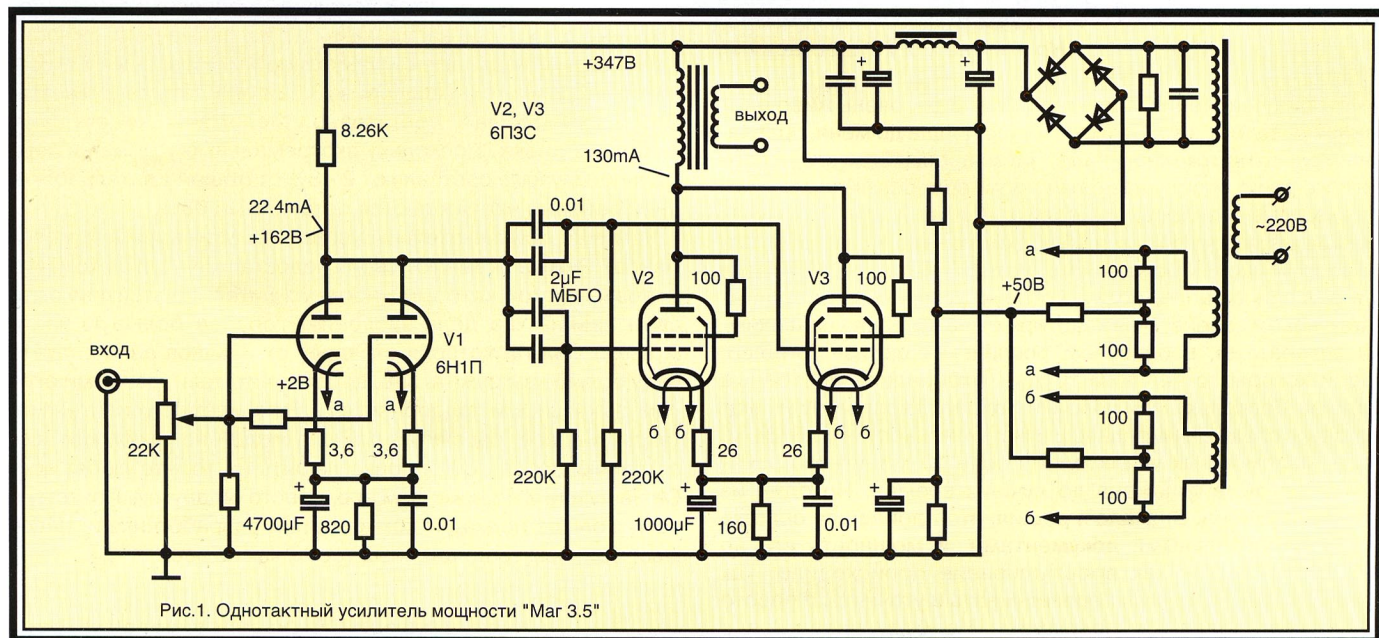


Рис.1. Однотактный усилитель мощности "Mag 3.5"

драйверный каскад — 49,0;

выходной каскад — 35,3;

АЧХ драйверного каскада (-3 дБ): 0,4 Гц ... 324 кГц.

Итак, слушайте «Маг 3.5», сравнивайте, обоснованно критикуйте, но так или иначе вы убедитесь, что и некоторые SE-усилители могут быть по качеству баса и его количеству не хуже многих PP-усилителей. Приятных прослушиваний и размышлений!

f, Гц	10	100	1000	10 000	20 000	50 000
R _{вых} , Ом	0.70	1.54	1.56	1.55	1.48	1.12
Дф	8.57	3.90	3.85	3.87	4.05	5.36

P.S. Похоже, что у меня, как у известных героев фильма «Ирония судьбы», складывается предновогодняя традиция. Опытный образец «Мага 3.5» был изготовлен 30 декабря 1996 г. В новогоднюю ночь я уже слушал его. В ближайшие дни я закончу проектирование электронной части нового PP-усилителя мощности под символическим названием «Impressario», намекая им на то, что «Maestro Grosso», как и любой маэстро, обязан иметь импрессарио. Мощность «Impressario» составит 9 Вт на канал при двух ГУ-50 в триодном включении без ООС. Драйвер с балансными и/или небалансными входами на трех лампах. Варианты входов по выбору потребителя. Чувствительность 0,7 В, выходное сопротивление 0,44 Ом. Максимальное амплитудное значение скорости нарастания сигнала в драйвере 103 В/мкс, в оконечном каскаде — 233 В/мкс. АЧХ драйвера 0 Гц ... 286 кГц; АЧХ усилителя — 5 Гц ... 97 кГц (-3 дБ).

Технологические отклонения при производстве, конечно, возможны, но драматического влияния на качество звука они не окажут. Динамические параметры PP-усилителя «Impressario» превзойдут таковые у «Мага 3.5» в 1,7 раза. Суммарные же частотно-временные и динамические показатели — более, чем в 4 раза. Цена от меня не зависит.

Если удастся изготовить опытный образец к Новому 1998 году, то уже в январе первые экземпляры «Impressario» будут клонированы с образца и поступят в продажу.

Юрий Макаров

О продаваемости концептуального

*...Декарт существовал, поскольку мыслил,
умея средства к жизни добывать.
А я хотя и мыслю в этом смысле,
Но этим не могу существовать.*

История появления усилителя «Маг 3.5», очень живо описанная разработчиком, моментально дошла до меня, правда, в несколько искаженном виде. Я в то время не выказал особого желания прослушать этот тогда еще безымянный усилитель. Мне казалось, что если в долгих и упорных муках сплошь да рядом рождаются ублюдки, то чего ждать от этого на спор и наспех рожденного дитяти. Летом 1997 года я готовил список аппаратуры, которую хотелось бы представить в новом салоне. Моя квартира была завалена различными аппаратами, в основном российских производителей, среди которых с великим трудом отбирались достойные модели. Поскольку мои колонки Eminent Technology имеют довольно сложный импеданс и чувствительность 83 дБ/Вт/м, часть маломощных усилителей после 10-минутного ознакомления была отложена до лучших времен. Но один из них меня удивил. Вначале я решил, что произошла ошибка с сопроводительными документами, и мощность его не 3,5, а 35 Вт. Так как прослушивание происходило, как всегда, ночью, я не стал перезванивать и уточнять, а просто решил его подольше послушать. Не буду вдаваться в

подробности прослушивания. Не люблю псевдоаудиофильно-меломанские рассуждения о «натуральном звучании с хорошей атакой щипковых инструментов и приятным качеством вокала...» и прочей казуистики. Но об этом следует сказать особо. Большинство усилителей в сочетании с моей акустикой либо вообще не воспроизводят частоты ниже 70 - 80 Гц, как один из любимых мной английских усилителей Audio Innovation Ser. 700, но зато остальная часть басового регистра имеет прекрасную фактуру; либо как Audio Sculpture Majescale, который воспроизводит бас до самых низких частот при потере фактуры всего низкочастотного спектра. Исследуемый усилитель поразил меня как нижней границей, так и прекрасной фактурой баса. Только на следующий день я узнал, что это и есть то самое «дитя дуэли». Без тени сомнения я заказал к открытию салона небольшую партию аналогичных усилителей, предупредив производителя, что оригинал оставлю у себя и каждый новый экземпляр буду проверять на соответствие. Первая партия была распродана в течение полутора месяцев без какой-либо рекламы, что убедило меня в правильности выбранного пути. Естественно, сразу же была заказана еще одна партия. В этом свете весьма логично продолжение сотрудничества с Ю. Макаровым и взвалившим на себя все тяготы такого неблагодарного дела, как производство, В. Осиповым. К Новому году планируется представить усилитель «Impressario», о котором немного рассказывал сам разработчик. Думаю, удастся удержать его цену в пределах \$1000. Поскольку Юрий Макаров давно выработал собственную концепцию и неуклонно следует ей, у меня нет сомнений в плодотворности нашего дальнейшего сотрудничества. Вообще, салон «Гирос» активно сотрудничает в первую очередь с разработчиками, имеющими собственную концепцию. Это Юрий Макаров, Александр Тарим, КБ «Три В», возможно, в ближайшее время «Tver Lab». Надеюсь, редакция «Class A» предоставит нам в дальнейшем возможность рассказать о корректоре «Old Timer», разработанном А. Таримом по нашей просьбе, и акустических системах AC KG «Delta», производимых КБ «Три В» также в сотрудничестве с «Гиросом». Естественно, наша цель не «догнать и перегнать Америку», а предоставить возможность любителям музыки сравнить концепции как наших, так и лучших зарубежных производителей, допустим, Audio Innovation, Audio Note, Copland и выбрать ту, что ему ближе.

Но вернемся к «Магу 3.5». Меня радует, что все его покупатели — меломаны. Аудиофилы не рассматривают его всерьез. Дело в том, что аудиофилы приносят свои аудиофильные диски, где записаны экстремальные по сложности фрагменты, бездарные с музыкальной точки зрения. Естественно, что усилитель мощностью 3,5 Вт иногда перегружается. Этого аудиофилам достаточно. Меломаны же слушают любимые диски. Поскольку экстремальные условия в нормальной музыке составляют 2 - 3% от общей длительности, они свободно наслаждаются остальными 98%.

Чем еще привлекательны усилители Макарова для меломанов? Они не скрывают своих недостатков. Дело в том, что фиговый листок, которым многие усилители тчатся прикрыть свои изъяны, на деле заслуживает гораздо большую часть музыки, чем та, которая страдает от изъянов аппарата. Не буду больше загружать вас, дорогие читатели, разными околмузыкальными подробностями. Речь идет об усилителе не таком, как все, рассчитанном для людей не таких, как все, оставляющих за собой право любить не то, что любят все. Он не лучше и не хуже, чем все, просто он другой. Поэтому к нему больше подходят комментарии разработчика и, надеюсь, мои, чем традиционный тест... как на все.

Григорий Чикнаверов, салон «Гирос»

РАЗМЫШЛЕНИЯ О КОНЦЕНТУАЛЬНОМ И РЕАЛЬНОМ



«Ученый — тоже человек, и, как все, не переносит, если не может найти чему-то объяснения.

Нет ничего уязвимее, чем научное построение. Ведь это только эфемерная попытка объяснить несколько фактов — а не вечная истина».

К.Г.Юнг. «Человек и его символы»

Совместно с редакцией журнала «Класс А» автором задуман цикл статей, адресованный не только самоделщикам от High End'a, но и тем, кто хочет разобраться в особенностях работы собственных аудиокомплексов с целью осознанного и мотивированного управления характеристиками уже имеющейся аппаратуры, а также предъявления обоснованных требований к техническим данным при покупке новых аудиокомпонентов и систем.

Мой склад характера позволяет лишь информировать читателей о результатах технических экспериментов и многочисленных аудиоэкспертиз, проводимых в моей некоммерческой лаборатории «Supreme Audio Synthesis» («SAS») в целях поиска многогранной Аудиоистины под девизом: «Точный звук — проникновенная музыка».

Право и воля читателей — оценивать, принимать или отвергать предлагаемую информацию.

Обнаряжение лаборатории «SAS» одними из лучших в мире (референсными) импортными источниками аналогового и цифрового сигналов (низкий поклон современным меценатам) позволяет получать достаточно весомые и достоверные результаты экспериментов и экспертиз. Например, четко слышны различия записей на CD-R, сделанных с разным разрешением, влияния при этом «цифровой линзы», а также записей CD-ROM в сравнении с оригиналами. Сравнительные тесты любых кабелей и прочих аудиокомпонентов, разумеется, значительно проще и, очевидно, вполне по зубам системе со столь высоким разрешением.

Разумеется, что аудиотракт SAS-Lab постоянно совершенствуется. Эксклюзивные эталонные SE-усилители мощности «Maestro Grosso» («Class A», декабрь 1996 г.; «Hi-Fi & Music», № 4, 1997 г.) являются практически воплощением моей философско-технической концепции «Supreme Audio Synthesis» (Высшего Аудио Синтеза), с более подробным изложением целей, методов и средств реализации которой можно ознакомиться в «Hi-Fi & Music» в статьях «От «Неофита» до «Адепта» (№№ 10, 11, 1997 г.) и «Трансцендентная функция саундстейджа» (№ 1, 1998 г.).

Осмелюсь высказать несколько крамольную мысль о необходимости публикаций нашими разработчиками своих концепций построения аппаратуры и аудиосистем. Не имея целостного видения проблемы, трудно создавать значимые изделия. Да и возможно ли вообще? Эклектичность мышления разработчика может породить лишь случайные конструкции с необъяснимо разными, а главное, неуправляемыми самим разработчиком «голосами». Когда концепция не объявлена, то любой случайный «голос» можно назвать задуманным. Почему иногда один производитель плодит дикое множество моделей? Просто идет отбор путем перебора за деньги потребителя. Это яркое свидетельство того, что разработчик не имеет концепции.

Для потребителя также упростится выбор «портного», у которого можно заказать «костюм», если потребителю ясна концепция конкретного разработчика. Если она ему не импонирует, можно не тратить времени на прослушивание соответствующих изделий. Если же разработчик или производитель работают на рынке, не декларируя концепции, то это знак потребителю: а есть ли у них концепция вообще? Может быть, они ремесленники и плодят лишь копии, не будучи художниками?

Публикации концепций полезны и разработчикам. Время перебора вариантов за счет потребителей и спонсоров проходит безвозвратно. Потребитель уже имеет и опыт, и вкус, и знания. Он требует и заслуживает уважения. Он равноценный

субъект на музыкальном пиршестве. Его неэтично обманывать. Правильнее его просвещать. Разработчик же, открыто формулируя свою концепцию, продемонстрирует уважение к потребителю, да и сам увидит, есть ли в его линии что-то, отличающее его от других. Если есть, в путь! Не стыдно, и можно начать поиск своего спонсора. Если нет, можно попытаться объединить усилия с родственной душой.

И спонсорам надежнее. Не имея достаточных знаний, чтобы раскусить недобросовестных разработчиков или производителей, они смогут хотя бы сопоставить интеллектуальный уровень опубликованных концепций с тем, что декларируют их подопечные.

Разработчиков и производителей достаточно много. Публикации их взглядов и размышлений уже встречаются. Вот только есть ли концепции?!

Ограниченный объем и в принципе прикладное назначение данного цикла статей не позволяют мне подробнее остановиться на исключительно интересных особенностях человеческой психики, изучаемых в том числе и аналитической психологией — научной школой, созданной К.Г. Юнгом (не путать с психоанализом, школой З. Фрейда).

Слушая музыку, получая от этого в том числе и наслаждение, мы не остаемся прежними — мы меняемся. Иногда к лучшему. Но мы все изначально разные. И не только внешне. Многие ищут внутри себя цель и смысл. Это люди с интровертивным типом ощущений. Особенно это творческие, художественно одаренные личности, замкнутые в своем внутреннем мире.

Некоторые находят свое призвание в общественной или профессиональной деятельности, ориентируясь на успех во внешней конкурентной среде. Их называют людьми с экстравертивным типом ощущений. Психологическая типизация людей — тоже заслуга К.Г. Юнга. Разделение на интровертов и экстравертов весьма условно. Многие обладают в разной мере и теми, и другими качествами. Но и музыку они воспринимают и чувствуют по-разному. Результаты воздействия музыки на них также отличаются. Многообразие психологических оттенков основных двух типов личностей приводит к неповторимости личностных характеристик. Это отличает нас друг от друга, делает взаимноинтересными (или антагонистичными), позволяет создавать различные концепции мироощущения и обмениваться ими.

Музыка создается, несомненно, не только как самодостаточное средство выражения композитором своих философско-этических и чувственных концепций, но и с целью доведения их до слушателей, чтобы найти сподвижников, поклонников, преемников. Мы можем об этом не задумываться, не зная, но культурный процесс является неотрывной и неизбежной частью развития человеческого рода. Воздействие на человека овеществленной им же среды обитания носит не только эмоциональный характер. Очень важно и несознаваемое глубинное психологическое воздействие. Образы и символы, создаваемые музыкой в сознании слушателя, не исчезают бесследно после окончания прослушивания, но погружаются в подсознание, иногда называемое в психологической литературе бессознательным. В нашем бессознательном хранится бесчисленное множество знаний, образов того, что наши индивидуальные предки приобрели от предыдущих поколений. Поэтому, упрощая, конечно, можно назвать такую скрытую, но генотипически заложенную — в каждом человеке разную — информацию, коллективным бессознательным данного индивида. Честь этого открытия также принадлежит К.Г. Юнгу.

Мы замечаем иногда, что знаем что-то как бы из ниоткуда. Часто это называют интуицией. Это наше бессознательное помогает нам в решении некоторых задач, над которыми мы напряженно размышляем. Такая помощь может придти и во

сне. Хрестоматийный пример с Д.И. Менделеевым, которому бессознательное явило периодическую таблицу элементов во сне, хорошо известен. Именно напряженная работа сознания увеличивает объем наших знаний, вследствие чего поле сознания как бы расширяется и начинает соприкасаться по все более протяженной границе с морем бессознательного. Когда волны этого моря набегает на небольшой островок поля сознания, в центре которого возвышается храм нашего Эго, мы испытываем неожиданное озарение, завершающееся иногда изобретением, иногда — открытием, иногда — симфониями, иногда — схемотехническими решениями...

Музыка способствует этим озарениям, хотя наши повседневные интересы и дела могут и не соприкасаться с ней. Музыка инициирует наше сознание и бессознательное, организует иногда эфемерный мостик своего рода космической связи с ноосферой человечества, в которой наше личное коллективное бессознательное соприкасается с множеством иных коллективных бессознательных. Обратите взор к ночному звездному небу. Не уставайте удивляться ему, подобно Канту. В таких уникальных случаях происходит осознание индивидом своей всеобщности, космизма своего существования в «музыке сфер» бесконечной Вселенной. В результате этого становятся невозможными неосознанность Эго и его неуправляемость. Человеку оказывается тогда необходимым делать себя, а не только плыть по течению. Трудно представить себе недеградирующую особь, самоуничтожающуюся, желающую стать хуже, непросвещенней, тупее окружающих. Обычно здоровому человеку свойственно стремление к самовозвышению, самосовершенствованию.

Музыка оказывается одним из эффективнейших средств саморазвития, осознания своей уникальности во всеобщности, повышения творческой потенции. Это называют «психосинтезом личности». На интровертов и экстравертов музыка оказывает разное воздействие, но обязательно возвышающее их над самим собой.

Музыка оказывается и наркотиком, без которого мы вскоре не мыслим существования. Попробуйте не послушать свою аудиосистему несколько недель — вы убедитесь в справедливости моих слов.

Музыка является языком общения с нашим бессознательным. Разве не интересно общение с высокоразвитой сущностью? Тем более, что она ваша исключительно уникальная составляющая часть.

Язык «музыки сфер» тогда становится осознанно востребованным в сфере музыки, которую каждый выбирает по себе, в соответствии с достигнутыми уровнями потребностей и возможностей. Поэтому философская, психологическая, этическая, эстетическая, эмоциональная и техническая грани звукополевого формирования музыкального многомерного пространства (саундстейджа) и его восприятия имеют равновесное значение. Их можно для удобства рассматривать и отдельно. Но никогда нельзя забывать об их взаимопроникновении и взаимообусловливании.

Обозначенная система ценностных координат является легким наброском базиса, на котором предполагается построение цикла статей «Информация SAS-Lab». Это позволит теперь в весьма лаконичной и спрессованной форме изложить ниже цель и метод концепции «SAS», т.к. я обязан указать, куда и зачем я иду и зову других. Читатель вправе не соглашаться слепо идти по дороге, уже выбранной мною. Я тоже не ищу случайных попутчиков, но лишь единомышленников, а не конформистов.

Полагаю, что затянущаяся преамбула достаточна для понимания моих целей и моих методов. Надеюсь, что для некоторых они окажутся приемлемыми. Тогда в дорогу, которую осилит лишь идущий!

Цель. Философская сверхзадача концепции «SAS» — посредством музыки, совершенной как по форме, так и по содержанию, способствовать внутреннему гармоническому развитию индивида и пробуждению новых духовных интересов, что достаточно для личностного и духовного психосинтеза интровертов, но также необходимо для повышения творческого потенциала и развития интуиции экстравертов.

Осуществить аппаратный синтез единого со слушателем психофизического звукового пространства, что является необходимым и достаточным для психодинамического синтеза музыкальных образов в поле сознания слушателя, пробуждения бессознательного, озарения сверхсознательным поля сознания, восхождения Эго слушателя в сверхсознательное.

Метод. Творческое использование знаний на стыке науки, техники и искусства, а также собственных интроспективных аудиоэкспертиз и аналитических исследований, направленных на системное совершенствование звукового тракта для минимизации влияния элементов тракта на осознаваемую точность передачи частотно-временных и динамических компонентов звука, а вследствие этого — на точность передачи психознергетических, бессознательных эмоциональных, а также сверхсознательных компонентов музыки.

Прежде, чем перейти к рассмотрению технических средств, позволяющих создать систему, реализующую обозначенную выше философскую часть концепции «SAS», требуется уточнить язык общения. Для этого необходима некоторая систематизация знаний (без претензий на исчерпываемость) о свойствах звука, слуха, акустики помещений, электроакустических систем, усилителей мощности и т.д. Информация будет излагаться с ясным обозначением позиции автора в нужных местах, а не отвлеченно и безлико, как это обычно свойственно академическим изданиям. Цикл статей не может и не должен заменять учебник.

Мы надеемся также на положительную обратную связь с читателями, конструктивные критические замечания которых могут способствовать улучшению формы изложения материала и его содержания.

1. Некоторые свойства звука

Термин «звук» в широком смысле понимается как колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразной, жидкой или твердой средах, т.е. звуковые колебания — это частный случай механических колебаний. Нас же интересует звук, понимаемый в узком смысле, как явление колебаний газообразной среды (воздуха), субъективно ощущаемое специальным органом чувств человека. Воздушное пространство, в котором происходит распространение звуковых волн, называют звуковым полем. Объект, вызывающий сжатия и разрежения воздуха, распространяющиеся в виде звуковой волны, называют источником звука. Процесс распространения этих упругих деформаций воздуха происходит с некоторой конечной скоростью, называемой скоростью звука ($C_0 = 341$ м/с при $T = 20^\circ\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении ($P_{\text{ст}}$), плотности воздушной среды $\rho_0 = 1,22$ кг/м³). Звуковые колебания источника звука образуют в воздухе продольные колебания, т.е. частицы среды (воздуха) колеблются вдоль линии распространения звуковой волны. Направление распространения волны называют звуковым лучом (этот термин пригодится нам при описании процессов в комнатах прослушивания). Некоторую воображаемую поверхность вокруг источника звука, образованную частицами среды (воздуха), имеющими одинаковую фазу колебаний, называют фронтом звуковой волны. Фронт волны источника звука в реальном времени может иметь сложную структуру поверхности (определенным аналогом такого фронта может быть кумулятивный спектр АС). Однако для упрощения математической модели, описывающей формы и поведение фронтов звуковых волн,

Табл.1.1

Источник звука	Расстояние от источника, м	Звуковое давление, Па	Уровень звукового давления, дБ
Писк комара	0.5	$2 \cdot 10^{-5}$	0
Шепот	1.0	$2 \cdot 10^{-4}$	20.0
Тихая речь	1.0	10^{-3}	34.0
Скрипка (пианиссимо)	1.0	$2 \cdot 10^{-3}$	48.0
Нормальная речь	1.0	$5 \cdot 10^{-2}$	68.0
Громкая речь	1.0	0.5	88.0
Струнный квартет	2.5	1.0	94.0
Рояль (фортиссимо)	3.0	2.0	100.0
Большой оркестр (фортиссимо)	10.0	6.0	109.5

обычно ограничиваются тремя видами фронтов: плоским, сферическим и цилиндрическим. Нам будут интересны только первые два вида.

Звуковые лучи и фронты звуковых волн полагаются взаимоперпендикулярными. Иногда говорится, что звуковые лучи нормальны фронту волны в любой его точке.

При распространении звуковой волны частицы воздуха совершают колебательные движения вдоль вектора звуковых лучей с определенной скоростью (ξ), называемой колебательной скоростью, которая является величиной векторной. Колебательная скорость частиц воздуха не идентична скорости распространения звуковой волны, которая является величиной постоянной при неизменных значениях параметров среды ($P_{ст}$, ρ_0 , $T...$).

Частицы воздуха под воздействием источника звука колеблются около некоторого положения равновесия, упруго взаимодействуя с соседними частицами, передавая им часть колебательной энергии от источника звука. Эти колебания достигают органов слуха человека, что и вызывает звуковые ощущения.

Направление колебаний частиц воздуха, совпадающих с направлением распространения волны, называют фазой сжатия; в фазе разрежения колебания частиц воздуха противоположны направлению волны. Сжатие и разрежение среды (воздуха) алгебраически суммируется с некоторым значением статического давления ($P_{ст}$) воздуха, образуя мгновенные значения полного давления P . Разность мгновенных значений полного давления среды P и статического давления $P_{ст}$ называют звуковым давлением (p). Звуковое давление p является ненаправленной (скалярной) величиной, т.е. действует во всех направлениях. Единицей измерения давления принят Паскаль (Па) [H/m^2].

Например, величина атмосферного давления при нормальных условиях $P_{ст} = 1,013 \cdot 10^5$ Па = 760 мм ртутного столба. При беседе или воспроизведении музыки средней громкости звуковое давление составляет $p = 0,1 \dots 0,2$ Па. В таблице 1.1 представлены ориентировочные значения звуковых давлений некоторых источников звука.

Отношение звукового давления p к скорости колебаний частиц среды ξ называют удельным акустическим сопротивлением (иногда — волновым сопротивлением)

$$\bar{Z}_0 = p / \bar{\xi} \quad (1.1)$$

В общем случае $\bar{Z}_0$ является величиной комплексной, т.е. состоящей из суммы активной и реактивной составляющих.

В случае плоской волны звуковые лучи идут параллельно друг другу, поэтому звуковая энергия не расходится, звуковое давление и колебательная скорость совпадают по фазе и не зависят от расстояния (в условиях идеальной среды — без потерь). Поэтому для плоской волны Z_0 равно его модулю Z_0 :

$$\bar{Z}_0 = Z_0 = \rho_0 C_0 = 412 \text{ [кг/м}^2\text{]} \quad (1.2)$$

В реальной воздушной среде, конечно, существуют потери, вследствие чего с увеличением расстояния от источника звука с плоской волной происходит уменьшение амплитуд звукового давления и колебательной скорости.

Для сферической волны удельное акустическое сопротивление совпадает с (1.1), а его модуль не превышает Z_0 для плоской волны:

$$Z_0 = \rho_0 C_0 \cos \varphi \quad (1.3)$$

где φ — угол сдвига фаз между звуковым давлением и колебательной скоростью.

Однако на средних частотах (например, $f = 1$ кГц,

$\lambda = C_0 / f = 0,341$ м) $\varphi = 3^\circ$ на расстоянии $r = 1$ м от источника звука, т.е. можно пренебречь столь малым сдвигом фаз (f — частота, λ — длина волны звуковых колебаний).

В сферической волне амплитуда звукового давления изменяется обратно пропорционально расстоянию. Колебательная скорость в поле сферической волны содержит две составляющие: активную и реактивную. Амплитуда активной составляющей изменяется, как и амплитуда давления, обратно пропорционально расстоянию. Реактивная составляющая в так называемом ближнем поле (к источнику звука) изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния ($1 / r^2$), т.е. убывает значительно быстрее, чем активная. Поэтому уже при расстоянии от источника звука

$$r > \lambda = C_0 / f \quad (1.4)$$

можно не учитывать реактивную составляющую и полагать, что поле сферической волны приближается по своим свойствам к полю плоской волны. Иногда такое поле называют дальним полем, подразумевая вырождение сферической волны в плоскую на значительных расстояниях.

Особенности распространения фронта сферической волны имеют не только академический интерес. Из (1.4) следует, что для низких частот, например, для $f < 100$ Гц $r = 3,4$ м. Очевидно, что в традиционных домашних условиях не все слушатели могут находиться на таком расстоянии от АС, чтобы фронт волны можно было считать плоским для всех частот, особенно если АС способны излучать и более низкие частоты. Таким образом, как видим, пренебрегать влиянием ближнего поля, особенно на низких частотах, не следует (при рассмотрении свойств слуха будет показано практическое значение влияния ближнего поля сферической волны на восприятие звуков музыки).

Кроме звукового давления, колебательной скорости перемещающихся частиц среды (воздуха) и акустического сопротивления среды, именуемых линейными характеристиками, звуковое поле может быть представлено энергетическими характеристиками: интенсивностью звука (I) и плотностью энергии (ϵ), т. к. волновой процесс в среде обязан переносом энергии от источника звука.

Интенсивность звука определяется как среднее количество звуковой энергии, переносимой звуковой волной за единицу времени через единицу поверхности, нормальной (перпендикулярной) к направлению распространения волны:

$$I = P_{ак} / S_{фр}, \text{ [Вт/м}^2\text{]}, \quad (1.5)$$

где $P_{ак}$ — акустическая мощность источника звука, Вт. Поскольку площадь фронта сферической волны $S_{фр} = 4\pi r^2$, то

$$I = P_{ак} / 4\pi r^2 = p^2 / \rho_0 C_0 = 1 / 2 p_m \bar{\xi}_m \cos \varphi \quad (1.6)$$

где p_m и $\bar{\xi}_m$ — амплитуды давления и колебательной скорости; φ — угол сдвига фаз между ними [см. (1.3)]; p — эффективное значение звукового давления, равное $p = p_m / \sqrt{2}$ (среднеквадратическое = RMS).

Для сферической волны можно записать: изменение звукового давления источника, создающего давление p_i на расстоянии 1 м, в зависимости от r :

$$p = p_i / r; \quad (1.7)$$

интенсивность же звука источника, имеющего интенсивность I_i на расстоянии 1 м, в функции от r :

$$I = I_i / r^2 \quad (1.8)$$

Из определения интенсивности звука следует, что оно относится к так называемым бегущим волнам. Однако для закрытых помещений, где могут присутствовать и стоячие волны, а волны, отраженные от поверхностей, накладываясь друг на друга, образуют сложные колебательные процессы, когда средний поток звуковой энергии во всех направлениях

становится одинаковым, правильное употребление термин «плотность звуковой энергии»:

$$\varepsilon = I / C_0 = p^2 / \rho_0 C_0 \text{ [Дж/м}^3\text{]} \quad (1.9),$$

где ε — количество звуковой энергии в единице объема.

Предлагаемый объем информации о свойствах звука достаточен для перехода к информации о процессах ощущения и восприятия звуков органом слуха человека.

2. Некоторые свойства слуха

В древности многие были уверены, что Земля — это плоский диск, а Солнце обращается вокруг Земли. Да и сейчас наши органы чувств не позволяют ощутить ее сферичность и обращение вокруг Солнца. Так и со звуком. Мы можем увидеть «беззвучно» приближающийся сверхзвуковой самолет, и услышать звук, догоняющий его, когда самолет уже вышел из поля зрения. Здесь зрительный и слуховой образы не совпадают во времени и пространстве.

Когда мы слушаем звуки музыки через аудиосистему высочайшего качества, напротив, — во времени и пространстве желательно адекватное проявление виртуальной звуковой и зрительной реальности, — тогда мы ощущаем себя в том звуковом пространстве, где происходит музыкальное действие. Мы знаем, что это иллюзия, но поддаемся ее гипнозу. Мы знаем, что Земля — сфероид, но зрение не в состоянии создать убедительных ощущений этого.

Итак, звук — это одновременно объективное и субъективное явление. Некоторые объективные свойства звука рассмотрены ранее. Воздействие звука на слух называют раздражением. Раздражение вызывает субъективную реакцию, называемую ощущением. Предшествующий жизненный опыт позволяет человеку преломить чувствуемое им ощущение некоторого раздражителя в осознанное ощущение, называемое восприятием. Могут быть случаи, когда ощущение есть, а восприятия его нет. В Африке, например, звук барабанов используется для передачи сообщений. Если вы не владеет этим языком, то для вас барабаны отбивают некоторый сложный ритм. И все...

Еще Эпикур заметил: «...всякое умозаключение зависит от предварительных ощущений». Я бы добавил: и восприятий.

Итак, каждому эффективно действующему на орган слуха (человека) раздражению, противостоит соподчиненное ему ощущение осознанного его восприятия. Если назвать слушателя (эксперта) субъектом, а предмет ощущения — объектом, то ощущение — это взаимосвязь субъекта с объектом. В норме не существует ощущения без субъекта, но нет его и без объекта. При патологии слухового органа могут возникать слуховые галлюцинации. Их можно искусственно вызвать также специальным раздражением слухового нерва или некоторыми препаратами. Физиологические аномалии — прерогатива медицины.

Нас же интересуют лишь «галлюцинации», создаваемые аудиосистемами, т.е. «нормальные» слуховые иллюзии. Следует заострить внимание читателей на различиях терминов «слуховой» и «звуковой» объект. То, что человек слышит и воспринимает, называют слуховым объектом. Трехмерное пространство, образуемое множеством точек, разделенных конечными (для разрешающей способности слуха) интервалами, где могут располагаться слуховые объекты, называют акустическим пространством. Это пространство — «звуковая сцена» — soundstage — саундстейдж — хорошо известно читателям. Кому не приходилось обсуждать, критиковать, хвалить саундстейдж той или иной аудиосистемы? Какие только термины и эпитеты ни используются для этого! Уже и «толковые словари» появились, чтобы утихомирить «вавилонское многоязычие», иначе участь строителей

вавилонской башни может постигнуть и строителей аудиосистем. О чем это свидетельствует? Да о том, что параметры «раздражителей»: источника звука, звукового сигнала, звуковой волны и поля — могут быть объективно измерены приборами и формализованы языком чисел, в то время как параметры восприятия акустических (слуховых) объектов, саундстейджа можно передать лишь словами, доступными конкретному субъекту. Вновь, казалось бы, обозначилась проблема «остроконечников» и «тупоконечников» — «объективистов» и «субъективистов» (см. «Hi-Fi & Music, № 1, 1998 г.).

«Субъективисты» апеллируют к некоей эзотерической непознаваемости (агностицизм) того, «как?» и «почему?» те или иные аудиосистемы позволяют воспринимать различия качества звуков музыки, а вследствие этого зовут создавать аудиосистемы эмпирическим путем, или, как мне больше нравится это называть, эдисоновским методом. Известно, что Т. Эдисон был больше экспериментатором, нежели аналитиком.

«Объективисты» же часто ограничиваются созданием компонентов аудиосистем, руководствуясь исключительно их аппаратным анализом. Обычно это является печальным следствием отсутствия у «объективистов» собственных систем вообще, либо наличием аудиосистем такого уровня качества (что также преобладает и у «субъективистов»), который трудно признать референсным. «Измерять» качество звука на таких системах все равно, что измерять напряжение вольтметром без шкалы. Мне часто доводится общаться с разработчиками из разных городов, поэтому мое обобщение можно считать репрезентативным.

Понимая сложность и дороговизну решения проблемы референсности, многие разработчики проводят аудиоэкспертизы своих творений в моей лаборатории «SAS», что уже позволило им заметно повысить качество своих изделий. Разработчик, в отличие от простого слушателя, не может себе позволить систематические ошибки в восприятии звуков музыки. Не любая, но именно референсная аудиосистема поэтому так же необходима, как вольтметр и осциллограф.

Следует, однако, ненадолго вернуться к «субъективистам», которые, как правило, не имеют измерительной аппаратуры и достаточных знаний для ее использования и тем более интерпретации результатов измерений. Такие «субъективисты»-агностики обычно удовлетворяются эмпирическим подбором компонентов аудиосистем, иногда сообщая читателям, что именно они ощущают и воспринимают в той или иной конфигурации включения аудиокomпонентов. Это называется, например, «испытательный стенд», «тест» и т.д. Активные «субъективисты» письменно сообщают читателям о безусловной необходимости и единственной правильности трактовки их личных ощущений и восприятий некоего музыкального события, например, свершившегося на треке 5 в момент «1 мин 15 сек» в исполнении ими же сертифицированного «лучшего в мире музыканта». Самое забавное в этом не система музыкальных ценностей и эталонов, а аудиосистемы, привычное, но во многом «кривое зеркало» которых объявляется достаточно ровным для «стандартизации» и нивелирования ощущений слуховых объектов и особенно их восприятия. «Большой брат», как в известном антиутопическом фильме, уже утвердил главных композиторов, дирижеров, исполнителей и экспертов, поэтому проблема решена и дискуссий быть не может. Ах, как живуча «совковость»! «Устав» о том, что и как слушать, а также что именно следует услышать, издан. Осталось обязать применять этот «устав» во всех «монастырях».

Полагаю, что в разделе «Некоторые свойства слуха» этой полемической теме уделено достаточное внимание, поскольку она ближе разделу «Некоторые свойства духа».

Относя себя к «субобъективистам», я попытаюсь примирить антагонизм «субъективистов» и «объективистов». Совершенно очевидно, что восприятие звуков, в том числе звуков музыки, сугубо субъективный процесс. По мере индивидуального развития человека дифференцируется, обогащается, рафинируется и мир его слуховых ощущений... Чем чаще этот рафинированный «субъективный» индивид сопоставляет объективные технические причины, вследствие которых ему удастся все более тонко и глубоко воспринимать все более дифференцируемые ощущения, тем скорее он станет «субобъективистом».

Совершенно очевидно также, что физическое создание, консервация и воспроизведение (мне импонирует термин «звукополевое формирование») звуков, в том числе звуков музыки, сугубо объективный процесс. Он существует даже в том случае, если о нем не имеет представления какой-либо «субъективист» или «объективист».

Чем чаще «объективисты» будут сопоставлять измерения объективных параметров аппаратуры, особенно по осознанной и целенаправленной вариации отдельных параметров аппаратуры, с изменениями слуховых ощущений и вследствие этого — с изменениями восприятия в условиях обязательно референтной системы, тем скорее они станут тоже «субобъективистами».

Индуктивный и дедуктивный методы научного познания могут успешно сотрудничать, не подавляя друг друга. В качестве первого шага такого сотрудничества следует, как мне представляется, признать равные права «остроконечников» и «тупоконечников», «лишь бы яйцо было свеженькое», как остроумно замечено в изящной и глубокой статье А. Коровиной («АМ», № 4, 1997). Тем более, что и те, и другие неизбежно придут к победе примиряющего их «субобъективизма».

Для научного и технического прогресса в области звукополевого формирования правильнее ориентироваться на те индивидуальные особенности, которые людей объединяют,

только в этом случае можно вообще что-то измерять, сопоставлять, изучать, конструировать, производить. Человеку для этого во все времена требовалась метрология.

Гипотетическая и трагикомическая ситуация, нарушающая эти требования, описана мною в статье «Трансцендентная функция саундстейджа» «Hi-Fi & М», № 1, 1998 г.). В ней сосредоточено внимание на психологических особенностях восприятия звуков музыки.

Как бы ни хотелось кому-то продолжать верить в непознаваемость и неизмеряемость объективных причин субъективных процессов, рано или поздно такому субъекту придется признать истину: «А все-таки она вертится!»

Надеюсь, читатель вдоволь отдохнул от обилия формул первого раздела. Поэтому вновь поговорим об измерениях.

Известно, что для нормального среднестатистического органа слуха человека существуют некоторые полученные путем измерений предельные (пороговые) минимальные значения физических параметров звукового поля, при которых еще существует слуховое ощущение. Таким порогом слышимости являются стандартизованная интенсивность звука $I_0 = 10 \dots 12 \text{ Вт/м}^2$ (близкая к порогу слышимости при $f = 1000 \text{ Гц}$ в тишине), а также соответствующие ей по (1.6) и (1.9) звуковое давление $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ и плотность звуковой энергии $\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ Дж/м}^3$.

Порог слышимости является частнозависимым. Выше порога слышимости расположена область слышимости. На Рис. 2.1 показана кривая порога слышимости, усредненная по результатам участия множества испытуемых со слухом без физиологических аномалий. Там же показан и верхний порог слышимости, выше которого может наступить разрушение органа слуха — болевой порог, которому соответствует давление $p_{\text{max}} = 150 \dots 200 \text{ Па}$, что превосходит величину $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ в 107 раз. Для более удобного оперирования столь значительными абсолютными величинами, но в большей степени потому, что слуховое ощущение раздражающей

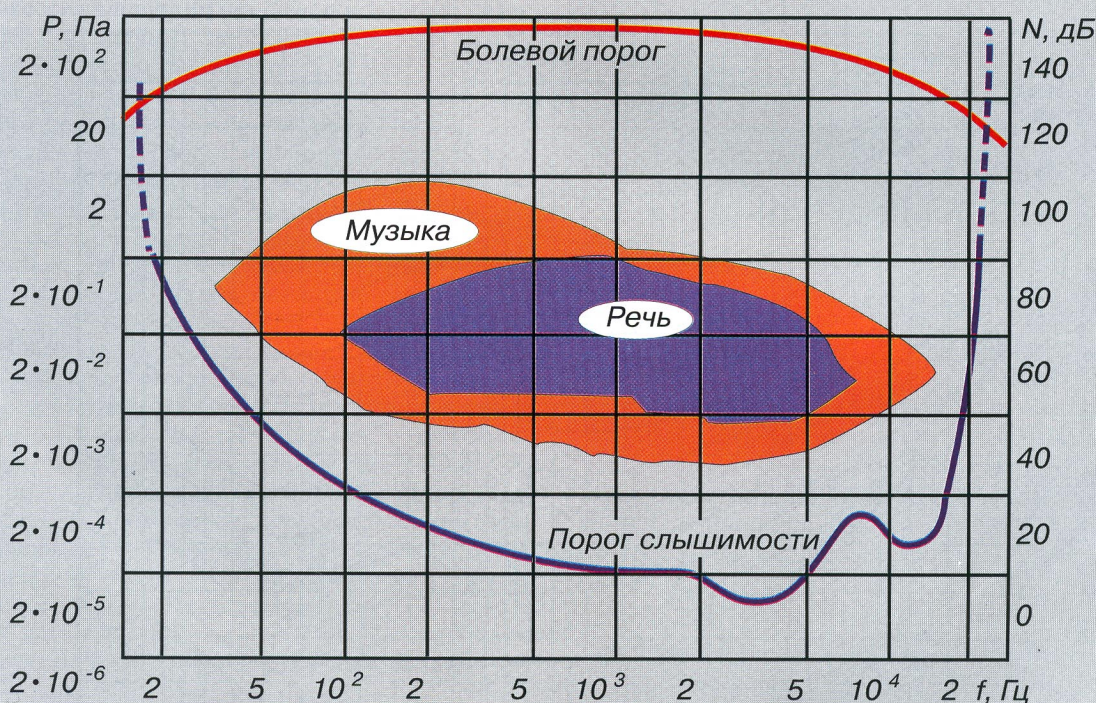


Рис.2.1 Кривые, ограничивающие область слышимости

силы звукового сигнала пропорционально ее логарифму (согласно закону Вебера — Фехнера), в акустике чаще используются величины, называемые уровнем интенсивности звука (L_I), уровнем ощущения (E), уровнем звукового давления (L_p), уровнем плотности звуковой энергии (L_E), которые также пропорциональны логарифму относительного значения параметра (I / I_0), (p / p_0), ($\varepsilon / \varepsilon_0$) и измеряются в децибелах (дБ):

$$L_I = 10 \lg(I/I_0) = 10 \lg I + 120 \quad (2.1)$$

$$L_p = 20 \lg(p/p_0) = 20 \lg p + 94 \quad (2.2)$$

$$L_E = 10 \lg(\varepsilon/\varepsilon_0) = 10 \lg \varepsilon + 145 \quad (2.3)$$

$$I = I_0 10^{0,1 L_I} = 10^{0,1(L_I - 120)} \quad (2.4)$$

$$p = p_0 10^{0,05 L_p} = 10^{0,05(L_p - 94)} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 10^{0,1 L_E} = 10^{0,1(L_E - 145)} \quad (2.6)$$

Формулы (2.1) — (2.6) получены на основании свойств логарифмов и представлены в различных видах, что облегчит читателю понимание последующего текста.

В табл. 1.1 приведены уровни звукового давления различных источников звука, вычисленные по формуле (2.2).

Ненадолго вернемся к закону Вебера — Фехнера, сформулированному в несколько иной форме: одинаковые относительные изменения раздражающей силы вызывают одинаковые приращения слухового ощущения. Эта особенность слуха также измерена: порог заметности изменения интенсивности (ΔI) чистых тонов на высоких и средних уровнях ощущения E составляет от 0,2 до 0,6 дБ, на низких уровнях ощущения он доходит до нескольких децибел, а среднее значение $\Delta I/I$ около 1 дБ. Таким образом, между порогом слышимости и болевым порогом слух различает несколько

сотен ступеней изменения слухового ощущения. С этим явлением связаны знакомые многим читателям по прессе, аудиосалонам и собственным комнатам прослушивания дебаты о макро- и микродинамике, разрешающей способности аудиосистем по амплитудам звуковых сигналов.

Следует добавить, что амплитудная разрешающая способность слуха по ощущению изменений интенсивности звука имеет еще и частотную зависимость: она наиболее высока на средних, заметно меньше на высоких и еще меньше на низких частотах. Положим, вы слушаете через аудиосистему тоны частотой 50 Гц, а затем 500 Гц, измеряя через микрофон специальным прибором с линейной частотной характеристикой уровень звукового давления в точке прослушивания. Положим также, что прибор в обоих случаях показывает уровень 40 дБ. Равногромко ли слышны оба тона? Правильно, нет. Тон частотой 50 Гц в этом случае может быть вообще не услышан, т.к. находится у самого порога слышимости. Итак, звук есть, а ощущения его нет. Стало быть, нет и восприятия. Из-за этого можно, например, сделать ложный вывод, что аудиосистема не передает тоны с частотой 50 Гц.

Продолжим эксперимент. Поставим ручку регулятора громкости усилителя в такое положение, чтобы стрелка прибора показывала 80...90 дБ. Теперь окажется, что слуховые ощущения от обоих тонов почти одинаковые, т.е. частотная характеристика слуха при большем уровне звукового давления более равномерна.

Итак, установлено, что уровень громкости неточно характеризует субъективное слуховое ощущение. Для преодоления этого было введено понятие уровня громкости (L_G). Условились за уровень громкости L_G данного звука принимать уровень интенсивности равногромкого с ним чистого тона с частотой 1000 Гц. Единица измерения L_G — фон. При бинауральном слушании (т.е. обоими ушами) чистых тонов для определения уровня громкости пользуются семейством изофонов, т.е. кривыми равной громкости (Рис. 2.2). С его помощью вы можете проверить правильность только что проведенного гипотетического прослушивания тонов 50 и 500 Гц.

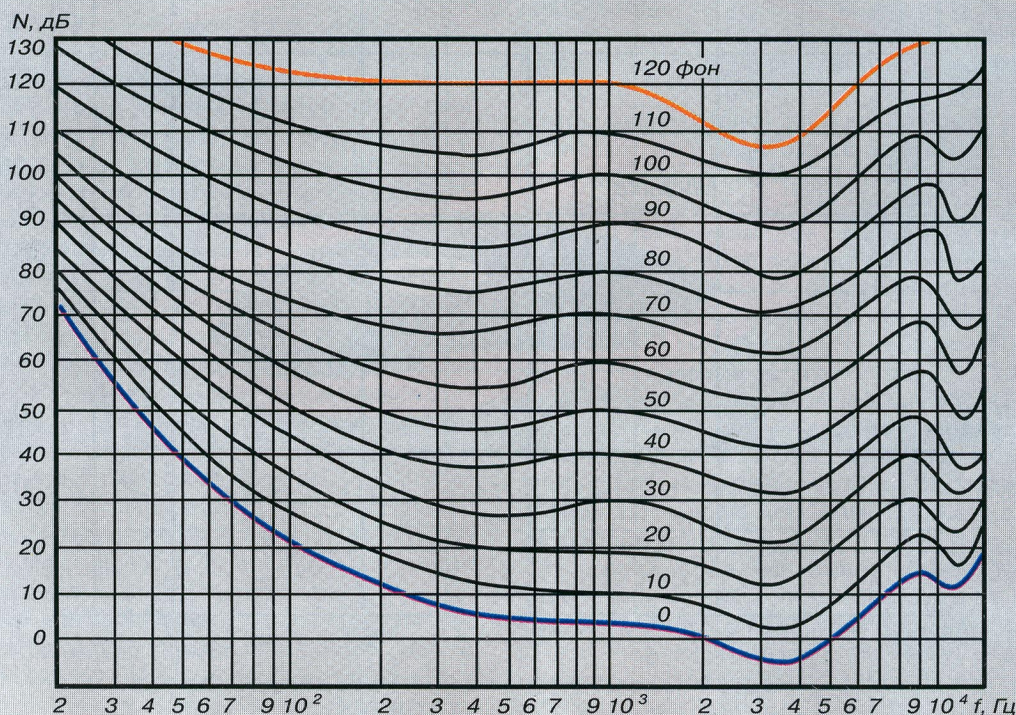
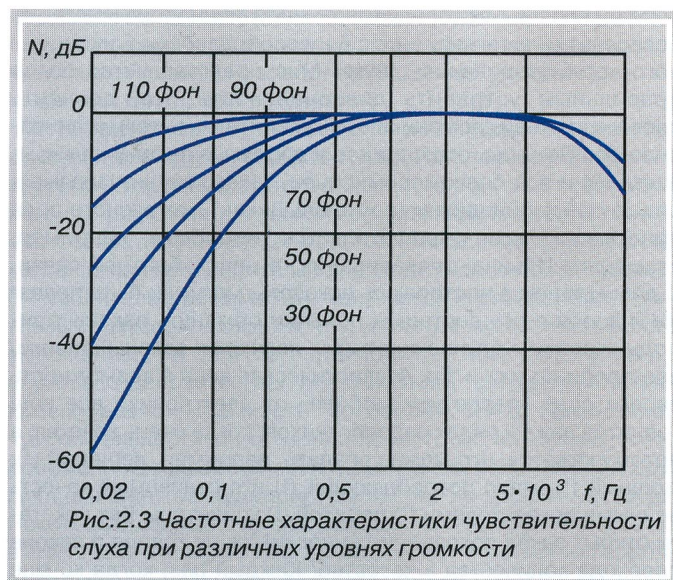


Рис. 2.2 Кривые равной громкости синусоидальных звуков



В случае включения в измерительном приборе взвешивающего фильтра типа А, корректирующего процесс измерения давления звука в соответствии с семейством изофон, т.е. с учетом свойств слуха, слуховые ощущения уже почти не противоречат показаниям прибора. Результаты изменений звукового давления в этом случае указывают со ссылкой на тип характеристики фильтра и выражаются в дБА.

Иногда графики изофон вызывают некоторые трудности восприятия их сущности. Для упрощения понимания представлен более доступный график (Рис. 2.3), характеризующий чувствительность слуха при различных уровнях громкости. Из Рис. 2.3 следует, что музыкальная программа, содержащая значительную долю низких частот, будет восприниматься как частотносбалансированная лишь при уровнях громкости 80...110 дБ. Создастся впечатление лучшего звучания низких частот. В тех же случаях, когда такой уровень громкости недопустим (из-за недостаточного взаимопонимания с соседями), либо неосуществим (из-за недостаточной мощности усилителя), то для восстановления правильного тонального баланса иногда применяют так называемые тонкомпенсированные регуляторы усиления, обеспечивающие подъем усиления низких частот при уменьшении уровня громкости и наоборот.

Можно, конечно, регулировать усиление низких частот отдельным регулятором тембра (эквалайзером) по вкусу, а также для компенсации потерь на низких частотах в других компонентах аудиосистем, к чему апеллирует в своих известных статьях М. Кучеренко. Мы с ним неоднократно, конечно, дискутировали на эту тему, сойдясь в основном: в аппаратуре Hi-Fi это полезно и даже нужно. В хайэндных же аудиосистемах, значительно превосходящих по линейности частотных характеристик хайфайные системы, частотокорректирующие элементы вводить следует весьма деликатно, для чего требуются и звукотехнические знания, и музыкальный вкус, и богатый слуховой опыт. Без сомнения, М. Кучеренко удовлетворяет всем этим требованиям, может быть, незаметно для себя, а потому ему кажется, что эквалайзер — это очень просто и для других. Позже я постараюсь подробнее рассмотреть вопрос о необходимости системы частотной коррекции вообще.

Уровень громкости достаточно точно следует особенностям субъективного ощущения и восприятия тональных звуков по уровню, но имеется несоответствие масштаба измеряемых уровней L_G (фон) с масштабом ощущения громкости.

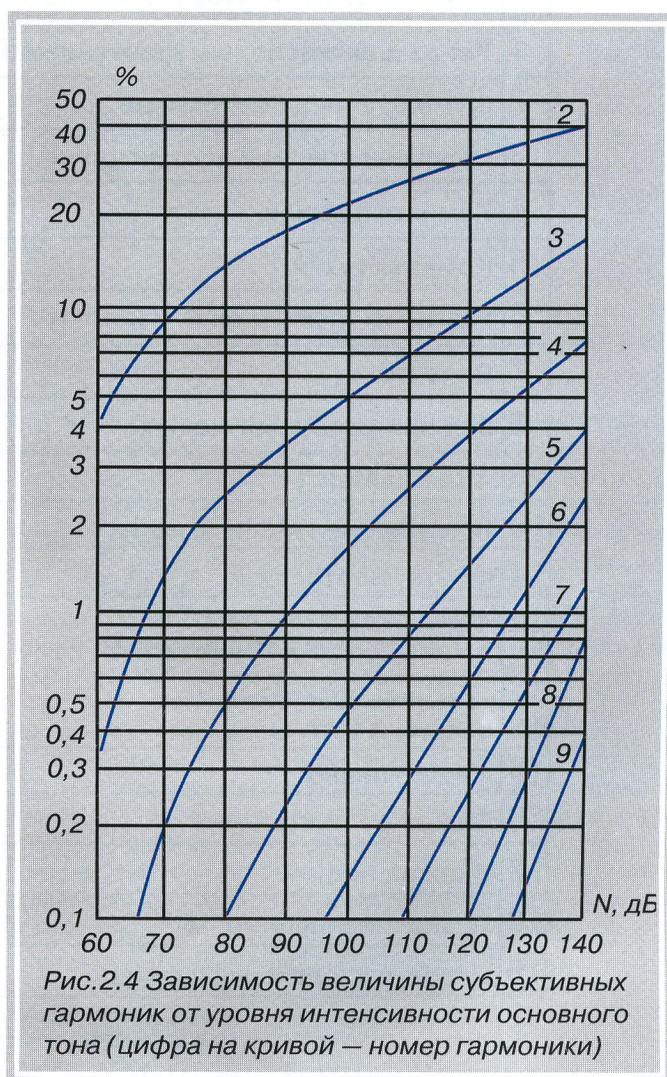
Зависимость субъективного изменения громкости G более точно для $L_G > 40$ фон выражается зависимостью

$$G = 2^{0,1(L_G - 40)} [\text{сон}] \quad (2.7)$$

Единицей измерения громкости принят 1 сон, соответствующий громкости тона с уровнем громкости $L_G = 40$ фон.

В Табл. 2.1 приведены измеренные величины уровня громкости L_G и громкости G для некоторых источников звука и градация громкости в музыкальных программах, полученная при измерениях в Большом зале консерватории в Москве и согласованная с результатами обработки нотного материала.

Слуховой аппарат человека, как и разного вида электронные усилители, не способен абсолютно линейно ощущать воздействия звуков в значительном диапазоне интенсивностей. Нелинейность слуха проявляется в том, что при воздействии громких тонов с уровнем интенсивности более 40 дБ, например, с частотой f_1 , в слуховом аппарате образуются гармоники этого тона с частотами $2f_1$, $3f_1$ и т.д. Многие могли наблюдать это явление, производя слуховой контроль аудиосистем тестовыми тонами на излишней громкости. Слышно неприятное расщепление сигнала. Незнание того, что слух способен синтезировать гармоники тонов, могло также привести к ложному выводу, что аудиосистема создает искажения, в то время как это лишь слышимые субъективно гармоники. В испытательном тоне их нет. При уровне интенсивности звука менее 40 дБ субъективные гармоники не образуются. На Рис. 2.4 представлена зависимость



субъективных гармоник от уровня интенсивности основного тона. Цифры на кривой обозначают порядковый номер гармоники. Из Рис. 2.4 следует, что оптимальным уровнем, при котором заметность и порядковый номер гармоники относительно невелики, можно считать 80...90 дБ. Особенно диссонансны 7-я и 9-я гармоники. Видно также, что 2-я субъективная гармоника почти в 5 раз превосходит 3-ю. Этот факт иногда является основой для утверждения, что SE-усилители, в которых обычно преобладает уже объективная вторая гармоника, более импонируют слуху, нежели PP-усилители, где доминирует третья объективная гармоника, к которой к тому же слух более чем в 1,5...2,0 раза чувствительнее. Термин «импонирует» следует понимать в том смысле, что слух не может отделить объективно привнесенные гармоники от собственных субъективных того же 2-го порядка, а потому их восприятие не вызывает дискомфорта. Попыткой воспользоваться этим свойством слуха во благо аудиофилов явилось создание PP-усилителей со специально увеличенной 2-й гармоникой, что достигалось разбалансом драйверного каскада.

Созданная и «исповедуемая» мной концепция «SAS» не позволяет мне согласиться с целесообразностью специального «приукрашивания» звука. Мне представляется более правильным устранить диссонансность, т.е. понизить уровень третьей гармоники в PP-усилителях путем их линеаризации. Понятно, это сложнее и дороже, а потому не вызывает, как и все бескомпромиссное, такого же энтузиазма в рядах «хэндмейдщиков» (самодельщиков), как разного рода простые схемные украшения, подобные, например, «лампочке Ильича» (накалывания) в цепи обратной связи. В дальнейшем я постараюсь показать, могут ли быть полезны и вообще осуществимы попытки обмануть законы природы, частным случаем которых являются законы физики, электродинамики и т.д. Атавистическая вера в возможность своего рода «перпетуум мобиле» от электроники все еще теплится даже в рядах разработчиков, когда очень хочется, а потому кажется, что можно создать, например, дешевый (!), мощный (!), мало потребляющий (!) и с отличными качественными показателями (!) простой (!) усилитель. Как нестати открыт закон сохранения энергии! Уж не говоря о законе перехода количества в качество! Каждый раз, когда ко мне

Табл.2.1

	Источник звука	Lg, фон	G, сон
1	Улица с интенсивным движением и трамваем	75 ... 80	11.40 ... 17.10
2	Шумная улица без трамвая	60 ... 75	4.35 ... 11.40
3	Обычный средний шум на улице	55 ... 60	3.08 ... 4.35
4	Комната шумная	40 ... 50	0.98 ... 2.20
5	Комната тихая	25 ... 30	0.20 ... 0.36
6	Разговор трех человек в комнате	45 ... 50	1.50 ... 2.20
7	Оркестр	80 ... 100	17.10 ... 88.00
8	Зал при массовых сценах	75 ... 90	11.40 ... 59.00
9	Аплодисменты	60 ... 75	4.35 ... 11.40
10	Исполнение соло в студии	40 ... 50	0.98 ... 2.20
11	Форте-фортиссимо	100	88.00
12	Фортиссимо	90	38.00
13	Форте	80	17.10
14	Меццо-форте	70	7.95
15	Меццо-пиано	60	4.35
16	Пиано	50	2.20
17	Пианиссимо	40	0.98
18	Пиано-пианиссимо	30	0.36
19	Порог слухового ощущения	0	0

обращаются за разработкой чего-нибудь «простенького», приходится долго доказывать вполне образованным людям, что только Главный Разработчик Законов Природы может их изменить. Вот только захочет ли?..

Есть еще некоторые нетривиальные выводы, которые следуют из нелинейных свойств слуха. При повышении уровня звукового давления от источника звука при сложной форме сигнала (например, музыки), содержащего множество тонов с некратными составляющими (что особенно выражено, когда сигнал предварительно проходит через малолинейный РР-усилитель в режиме АВ), получается интенсивный объективный «мусор», который усугубляется субъективным его умножением. А для чего приходится повышать уровень звукового давления, мы уже выяснили при рассмотрении кривых равной громкости: во-первых, из-за пониженной чувствительности слуха на низких частотах; во-вторых, из-за пониженной эффективности АС, кабелей, усилителей и других компонентов аудиосистем на тех же низких частотах. Некоторые данные аудиоэкспертиз изложены в моей статье в «Hi-Fi & M» № 11, 1997 г. применительно к влиянию выходного импеданса линейных предусилителей на точность передачи низких частот.

Итак, чтобы снизить субъективные нелинейные искажения, следует не увлекаться чрезмерно громким звучанием, применять все компоненты аудиосистемы с достаточно линейными амплитудными характеристиками (чтобы не слишком увеличивать объективные негармонические искажения), применять компоненты как можно более широкополосные, особенно в сторону низких частот.

Несколько позже я изложу по крайней мере еще три причины, доказывающие необходимость и достаточность этого последнего требования.

Теперь пришло время сосредоточить внимание на частотных свойствах слуха, о которых иногда упоминалось при рассмотрении амплитудных свойств.

Хорошо известно, что частотный диапазон слуха простирается от 16 Гц до 20000 Гц. Слуховая память позволяет удерживать до нескольких сотен градаций частоты. Их число уменьшается с понижением интенсивности звука (диалектическое противоречие с требованием минимизации субъективных гармоник). Поэтому среднее число градаций не более 150. Устройство органа слуха часто уподобляют цепочке резонаторов, настроенных на определенные полосы частот. Такая модель показывает хорошее приближение к устройству и результатам действия реальной слуховой улитки, в которой расположена базальная мембрана, содержащая свыше 20000 оседающих волокон, которые передают возбуждающее воздействие через нервные окончания в слуховой центр мозга, где и происходит обработка полученных сигналов, вследствие чего слушатель воспринимает (субъективно) образовавшийся слуховой образ. Если слуховая память уже содержит предваряющую эмпирическую информацию о подобном или близком слуховом образе, то мозг идентифицирует ее как знакомую, идентичную или же тождественную. Так происходит и процесс сравнения «звучаний» компонентов в базовой аудиосистеме.

Слуховые впечатления — это всего лишь 15...20% информации, которую получают совокупно все органы чувств в процессе жизнедеятельности человека. До 80% информации поступает через органы зрения, благодаря которым мы можем, даже не слушая, отличить контрабас от скрипки, например. Именно вариативность одновременной оценки объективных явлений посредством всех органов чувств позволяет мозгу создать и сохранить такие полигологические образы, когда даже какой-либо запах может ассоциативно вызвать из памяти зрительный или/и слуховой образы, если похожий запах ощущался во время некогда

происходившего события. На основании этой очевидной тенденции слияния в пространстве слуховых и зрительных объектов еще в 1909 г. О. Клемм сформулировал так называемый «закон пространственного совпадения», который утверждает, что при возбуждении различных органов чувств создаваемые этими возбуждениями ощущения имеют тенденцию слияния в пространстве. Кино и телевидение успешно «обманывают» зрение, вследствие чего хороший фильм проникновенно воздействует на мозг, вызывая чувства сопереживания, радости, гнева и т. п. Аналогично и с аудиосистемами. Они изначально созданы для образования звуковых иллюзий, миражей, о чем уже упоминалось в начале этого раздела. В лаборатории «SAS» используется топовая модель биполярных АС с символическим названием «Мираж-1м», благодаря которым пространственные (трехмерные) характеристики саундстейджа великолепны, что возможно лишь при эффективной работе АС и остальных компонентов даже на самых низких частотах (10...20 Гц).

Именно закон О. Клемма, объективно основанный на всей истории развития органов чувств человека, объясняет, почему терминология обсуждения свойств саундстейджа неизменно тяготеет к зрительным ассоциациям. Это нормальное проявление эффективно действующего психофизиологического закона.

У различных людей зрительная, слуховая, моторная, тактильная и т. д. виды памяти развиты по-разному, что естественно. Каждый индивид, очевидно, может провести самоанализ своих предпочтений. Я, например, любил в детстве играть в шахматы вслепую. Приезжая в незнакомый город, я искал глазами один-два наиболее высоких объекта, как бы «вводил» в зрительную память реперные точки. Куда бы затем я ни ходил, внутренняя «шахматная доска» — план этого города — постоянно виделась мне подобно овеществленному макету. Когда я разрабатываю дизайн корпуса своих аппаратов либо только пространственное расположение деталей, эти вполне субъективные процессы для меня вполне объективно визуализированы: я вижу типологию тепловых потоков, электромагнитных полей, оптимальность расстояний между деталями при сохранении требуемых схемой взаимосвязей, т. е. мысленная визуализация по многим факторам — это нормальное напряженное состояние разработчика.

Так и со звуком. Для меня важны реалистичность звуковой картины (глубина и ширина), ее прозрачность, негипертрофированность размеров музыкальных инструментов и их расположения, четкость базиса — «привязки» их к полу, сцене, подиуму (этим эффектом, кстати, тоже можно управлять). Важны также возможность сосредоточить внимание на звуках и образах каждого инструмента (при малых составах), воспринимаемых при желании отдельно от других, с собственной аурой, но без потери ансамблевости, если слух и зрение аккомодируются с частного на общее. Это обеспечивает иллюзию присутствия, участия в событии. Разумеется, что в этом проявляется преимущественно действие первой сигнальной системы. Но именно это объединяет людей и позволяет проводить метрологию аудиосистем.

При удовлетворении аудиосистемой этим требованиям мне комфортнее включать ту систему — вторую сигнальную, — наличие которой особенно отличает человека от животного. Здесь можно «дать установку» на исследование восприятий, произвести интроспекцию и языка звуков музыки, и тех психологических событий, которые возникают в моем поле сознания и в бессознательном, попытаться расширить поле сознания и т. д. Эти процессы только мои, и общение идет только на моем языке. У другого субъекта они существенно иные. Миллионы внутренних языков, где лишь иногда встречаются знакомые всем слова. Это именно людей и разъединяет,

делает уникальными. Каждый человек — микрокосм. Восприятие и интерпретация любого неформализованного языка, будь то язык живописи, скульптуры или музыки — образы свободных ассоциаций — у каждого индивида должны быть и будут обособленными. Поэтому аудиоэкспертиза (психологическая метрология) не сможет преодолеть вавилонского многоязычия.

Музыка — это некий язык, обеспечивающий человеку, в меру владеющему им, обобщенное отражение действительности (музыкального процесса, например) в форме отвлеченных, абстрактных понятий и специфически сложных умозаключений. Языков в музыке может быть много: джазовый, роковый, классический и т.д. Не считая формализованного нотного. Если я, положим, не владею языком «рока», то и понять язык этой музыки и музыку этого языка мне сложно, если они, конечно, есть.

Я немного приоткрыл структуру своей работы разработчика — для меня это «музыка сфер», — я чувствую эвристическую красоту и целесообразность схемных решений, пропорциональность, «золотое сечение» в соотношениях токов и напряжений... Тем, кто не владеет этим языком, трудно разделить мой восторг. Но они могут владеть языком, недоступным мне! Если каждый из нас освоит язык другого, мы станем совершеннее. Для меня усилитель действительно «звучит» еще на бумаге. И тем больше наслаждение, когда близко совпадают «эффемерный числовой» и физически реализованный голос аппарата. Именно так разрабатывался «Maestro Grosso». Именно этот усилитель — начальная точка отсчета концепции «SAS». Именно его «числовой голос» адекватен «голосу физическому».

Для меня далека позиция некоторых разработчиков, когда экспериментальный подбор или перебор деталей, ламп, проводов и т.п. ставится во главу угла. Достаточно попробовать такое изделие в трех-четырех различных аудиосистемах, чтобы убедиться, что путь превращения, например, линейного усилителя мощности в скрытый темброблок бесперспективен. Правда, можно при этом настаивать, что все опробованные аудиосистемы плохи. Для таких случаев и нужны референсные системы. Аппарат же, действительно имеющий свой голос, должен сохранять его полностью узнаваемым всегда и в любой аудиосистеме пристойного качества. Если же голос его подобен хамелеону, то разработчик известен — нью-Эдисон.

Поэтому мне импонирует предсказуемость расчета, многофакторного эвристического анализа. Да, с последующей проверкой слуховых ощущений, восприятий (первая сигнальная система) и их языковой интерпретации (вторая сигнальная система).

Согласитесь, читать, например, классический роман в метро, библиотеке или в условиях домашнего уюта — это не одно и то же. Так и звуки музыки! Если вы любите читать в метро — вы абсолютно здоровы. Вы не больны страстью к точным звукам музыки. Если же вы испытываете звуковой комфорт при работе аудиосистемы высокого разрешения без скрытого и явного темброблоков, без вкусового окрашивания, но при нейтрально-сером звуке, то и язык любой музыки вам станет «сладок и приятен». Как дым Отечества...

Первое — точность передачи звуков — является необходимым и безусловным требованием второго — точности передачи всех компонентов музыки — на семантическом и эстетическом уровнях, что лишь и обуславливает проникновенность ее воздействия. Термин «проникновенность» мне представляется и более русским, и более психологически точным. Поэтому он входит в состав девиза моей лаборатории «SAS».

Термин «музыкальность» вызывает у меня образ «масла масляного». Например, музыкальность передачи музыки. Термин «вовлеченность» напоминает массовика-затейника,

вовлекающего массы: хочешь-не хочешь, присоединяйся, коллективизируйся.

Однако серьезное слушание звуков серьезной музыки — не прослушивание! — дело весьма интимное. Даже легкое прикосновение к этой теме, как видите, неизменно высекает искры полемического костра. Чтобы из них не возгорелось пламя, я и сделал логическое ударение на необходимости объединения аудиофилов и меломанов (как ранее «объективистов» и «субъективистов») под знаком проникновенности музыки. Проникновенность музыки, в отличие от вовлеченности, не нуждается в «постоянной и переменной тягах» — это не трамвай, проникновенность музыки в сознание и сверхсознательное осуществляется подобно действию жесткого наркотика — быстро, незаметно и неотступно. (Попробуйте отказаться от уже вкушенного слушания музыки в действительно высокоразрешающей системе!) Полноценную вовлеченность + музыкальность = проникновенность так называемый меломан сможет получить лишь в аудиофильной системе высокого разрешения, в противном случае придется очень многое домысливать и «дослушивать» внутренним слухом.

Так, незаметно, мы снова вернулись к важнейшему понятию — разрешающей способности слуха, которая является «потребителем» той информации, которую может предложить разрешающая способность аудиосистемы. Чтобы слух проникся звуками музыки, разрешающая способность системы должны быть аудиофильной — превосходить и разрешающую способность источников звуков музыки, и разрешающую способность слуха.

Частотную разрешающую способность слуха обеспечивают упомянутые ранее полосы пропускания, образованные специфическим устройством органа слуха. Их называют критическими полосками, иногда — частотными группами. Всего таких полосок 24. Поэтому считается, что слух как бы превращает широкополосный звук со сплошным спектром частот в дискретный, т.е. состоящий из конечного числа составляющих, соответствующих включенным в работу числу критических полосок. Ранее было отмечено, что разрешающая способность слуха по амплитуде составляет несколько сот ступеней (скачков) ощущения.

Таким образом, совокупная разрешающая способность слуха по амплитуде и частоте в пределах области слышимости, ограниченной снизу порогом слышимости, а сверху — болевым порогом, составляет около 22 000 элементарных градаций звуковых ощущений. Своего рода четкость звукового изображения. Замечу для справки, что число градаций зрительных ощущений составляет около 600 000, т.е. различимость на изображении мелких деталей (четкость) почти в 30 раз больше, чем у слуха. Однако глаз воспринимает еще яркость, контрастность, цвет, объем. Вот почему так довлеет «зрительная» терминология над звуковой — она богаче. И вот почему, сколь бы ни была совершенна аудиосистема, нам всегда будет не хватать разрешающей способности слуха при сопоставлении с разрешающей способностью зрения. Мы всегда будем ощущать недостаточную «зрительно» воспринимаемую четкость пространственного положения звуковых источников, хотя это лишь необходимое условие комфортного прослушивания. Чем менее противоречивы зрительные и слуховые ощущения (см. закон О. Клемма), тем адекватнее натуральному будет восприятие звуков и проникновеннее воздействие музыки.

Есть и некоторые другие факторы, позволяющие слуху осуществлять психодинамический синтез музыкальных образов в поле сознания слушателя...

Об этом — в следующей части «Информации лаборатории SAS».

Юрий Макаров

ПО ПАВЕДАМ

На этот раз хочу предложить вам, уважаемые читатели, ненадолго отвлечься от насущных аудиофильных проблем и, совершив небольшой экскурс в историю, познакомиться поближе с одним из самых знаменитых усилителей, первая публикация схемы которого полвека назад (*Wireless World*, April 1947), по сути, положила начало Hi-Fi технике. Парадокс¹ этого усилителя, растрогавшего в течение 50 лет в различных вариантах несметным множеством самоделщиков и многими фирмами-производителями, заключается, с одной стороны, в том, что идеология построения его схемы базируется на изящной совокупности нескольких предпосылок, дальнейшее самостоятельное развитие которых привело к взаимно исключающим результатам, а с другой стороны, в том, что, несмотря на множество предложенных улучшений, модернизаций и видоизменений, именно оригинальный вариант принципиальной схемы наиболее соответствует требованиям современного High End'a.

Конец 40-х годов ознаменовался бурным развитием телевидения, радиовещания в УКВ диапазоне с использованием частотной модуляции, а также механической звукозаписи (к этому моменту потенциальные возможности как грампластинок с частотой вращения 78 об/мин, так и аппаратуры их записи - воспроизведения были исчерпаны; поэтому техника стояла на распутье между несколькими новыми, значительно более совершенными форматами, в частности, это была долгоиграющая пластинка на 33 об/мин и виниловая же, но менее долгоиграющая пластинка на 78 об/мин с микрозаписью, аналогичной записи на 33 об/мин) и магнитной записи на ленту. Все это сильно расширило круг возможных потребителей высококачественной аудиотехники, получившей название Hi-Fi. Ведь, если в 30-х годах, когда появились первые достаточно высококачественные (по нынешним меркам) усилители и акустика, они в основном применялись в звуковом кино (т.е. представляли из себя относительно немногочисленные промышленные установки), то в 40-х уже ставилась коммерческая задача обеспечения индивидуального потребителя высококачественным звучанием в домашних условиях. С другой стороны, к этому моменту имелось достаточно публикаций как по теоретическим основам, так и по практическим решениям усилителей звуковой частоты. Молодому талантливому инженеру Вильямсону (D.T.N. Williamson), работавшему в то время в компании Marconi-Osram, осталось лишь изящно их обобщить, что и было им блестяще сделано.

Итак, кратко напомним основные предпосылки, на которые ориентировался Вильямсон:

1. Линейная АЧХ и сдвиг фазы выходного сигнала относительно входного не более $\pm 20^\circ$ в диапазоне частот как минимум $10 \div 20000$ Гц;
2. Отсутствие в составе усилителя каких-либо звеньев, имеющих значительную нелинейность или разрывность передаточных характеристик (например, таким звеном является двухтактный выходной каскад в режимах В или АВ, особенно если последний работает с автоматическим смещением, или в некоторых случаях элементы со стальным сердечником в сигнальных цепях — трансформаторы и дроссели);

3. Усилитель должен иметь выходное сопротивление; не превышающее $3 \div 5\%$ полного сопротивления громкоговорителя, для обеспечения хорошего электрического демпфирования последнего;

4. Усилитель должен иметь выходную мощность не менее $15 \div 20$ Вт.

Рассматривая возможность практической реализации этих требований, Вильямсон обращал особое внимание на следующие моменты:

— Выходной каскад. Из нескольких возможных вариантов был выбран выходной каскад на триодах как обеспечивающий высокую линейность передаточной характеристики и достаточно низкое выходное сопротивление даже без применения ООС (в то время разработчики усилителей предпочитали выходные каскады на лучевых тетрадах и пентодах из-за их более высоких КПД и выходной мощности, а также более низких требуемых при этом анодного напряжения и напряжения возбуждения на управляющих сетках выходных ламп. При этом значительная нелинейность передаточной характеристики и высокое выходное сопротивление компенсировались как правило с помощью ООС. Такой подход входит в прямое противоречие с предпосылкой 2 и указанными Вильямсоном условиями применения ООС, о чем речь пойдет далее). В силу предпосылки 2 оговаривалась необходимость работы выходного каскада в классе А. Наиболее подходящими для своих целей Вильямсон считал прямоточные триоды PX25 и лучевые тетроды KT66 в триодном включении. Были выбраны KT66 как более современные и с косвенным накалом (чтобы не создавать лишних проблем с питанием накала)².

— Выходной трансформатор. Вильямсон считал его наиболее критичным компонентом в Hi-Fi-усилителях. К искажениям, непосредственно или косвенно создаваемым выходным трансформатором, относятся:

— частотные искажения, вызываемые относительно низкой индуктивностью намагничивания, повышенной индуктивностью рассеивания, паразитными емкостями и резонансными явлениями;

— искажения из-за повышенных фазовых сдвигов, особенно если трансформатор находится в петле ООС, в том числе паразитная высокочастотная генерация, обычно возникающая при повышенной индуктивности рассеивания;

— интермодуляционные и гармонические искажения, вызываемые перегрузкой выходного каскада на низких частотах вследствие падения реактивного сопротивления обмоток трансформатора, входящего в сопротивление нагрузки ламп³;

— интермодуляционные и гармонические искажения, возникающие из-за нелинейности зависимости между намагничивающей силой и индукцией в сердечнике⁴;

— искажения, возникающие из-за чрезмерного активного сопротивления обмоток.

Вильямсон показал, что для достижения на краях частотного диапазона фазовых сдвигов, не превышающих $\pm 20^\circ$, полоса пропускания (по уровню -3дБ) системы «выходной каскад — трансформатор — нагрузка» должна быть как минимум втрое шире. Поэтому для своего усилителя с полосой эффективно воспроизводимых частот

¹ Еще один парадокс схемы Вильямсона заключается в том, что хотя ее отдельные технические решения встречаются в аудиотехнике сплошь и рядом, да и само название *Williamson amplifier* попадает на глаза довольно часто, тем не менее с оригинальной принципиальной схемой знакомы далеко не все и найти ее не очень просто. В частности, в журнале «Вестник АРА» № 2 опубликован перевод статьи Скотта Франкланда «SE против PP», в которой подробно, начиная с аудиона Ли де Фореста, описана история создания усилителя Вильямсона, однако сама схема не приводится. Как человек практических действий, данной публикацией я попытаюсь восполнить этот пробел, уделяя внимание именно схемотехнике в ущерб чистой беллетристике — Н.Т.

² Оригинальные лампы KT66 в триодном включении имеют чрезвычайно линейные характеристики, практически идентичные характеристикам триодов PX25. Сведений о линейности характеристик современных KT66 у меня, к сожалению, нет — Н.Т.

³ Линия нагрузки при этом выражается в эллипсе, а выходное сопротивление усилителя становится существенно реактивным.

⁴ Присутствия всегда, эти искажения особенно проявляются при приближении величины индукции в сердечнике к индукции насыщения.

Вильямсон

10÷20000 Гц он сконструировал трансформатор, обеспечивающий при заданных выходных лампах и нагрузке полосу пропускания по уровню -3 дБ 3,3 ÷ 60000 Гц. Первичная обмотка трансформатора состояла из 10 секций, а вторичная — из 8.

Вильямсон подчеркивал порочность метода измерения индуктивности первичных обмоток выходных трансформаторов при подаче сетевого напряжения 120 ÷ 220 В⁵, рекомендуя использовать напряжение 5 ÷ 6 В, например от накальной обмотки силового трансформатора, и чувствительный миллиамперметр переменного тока.

— Обратная связь. Весьма примечательно, что, по-видимому, глубоко вникая в физику явлений, Вильямсон рассматривал ООС как средство улучшения усилителя, обладающего и без ООС отличными параметрами, а не как панацею для превращения неграмотно спроектированного устройства в хорошее. Конструируя свой усилитель, он попытался сформулировать условия применимости общей ООС (или задать общий облик схемы, проектируемой для работы с ООС). В частности, одним из важных требований является предпосылка 2 (см. выше). Второе существенное требование — строгое разделение функций каскадов, что позволяет в некоторой степени их оптимизировать. С этим требованием и между собой конфликтуют условия достижения необходимого коэффициента усиления (причем с запасом, учитывающим уменьшение усиления при замыкании петли ООС) при одновременном обеспечении широкополосности и ограничении числа усилительных каскадов (особенно при емкостных связях между ними) с целью ослабления так называемого кумулятивного набега фазы.

Анализируя многочисленные возможные варианты построения схемы, Вильямсон остановился на следующем:

— первый каскад — каскад усиления напряжения работает в режиме (со смещением на управляющей сетке и напряжением на аноде), обеспечивающем значительную перегрузочную способность (до 20÷30 дБ);

— второй каскад — фазоинвертор с разделенной нагрузкой имеет гальваническую связь с первым каскадом и работает при малых амплитудах выходного сигнала (не более 5 В), что обеспечивает не только высокую линейность фазоинвертора, но и высокую идентичность его выходных напряжений;

— третий каскад — дифференциальный драйвер с невысоким коэффициентом усиления по напряжению (порядка 15) и, следовательно, с небольшой величиной динамической входной емкости, которая не оказывает существенного влияния на нагрузку фазоинвертора. Драйвер связан с выходным каскадом с помощью переходных конденсаторов и работает при значительной величине анодного напряжения, что позволяет обеспечить необходимую амплитуду напряжения возбуждения триодного выходного каскада с малыми искажениями;

— четвертый каскад — выходной двухтактный каскад на лучевых тетрадах в триодном включении, работающих в классе А с автоматическим смещением. Отрицательная обратная связь подается через резистор со вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь катода входной лампы.

Во всех каскадах, кроме выходного, Вильямсон применял триоды L63⁶ или двойные триоды 6SN7, обладающие относительно низким внутренним сопротивлением (около 8 кОм), невысоким статическим коэффициентом усиления ($\mu \approx 20$) и чрезвычайно линейными ВАХ.

Итак, настало время обратить взор непосредственно на знаменитую схему, изображенную на рис. 1.

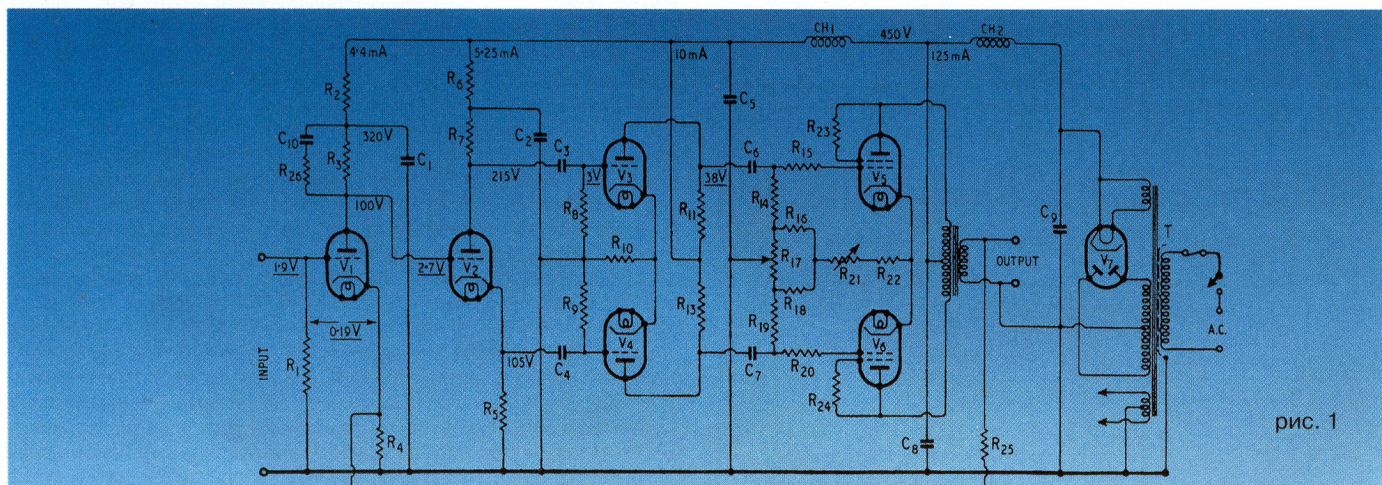


рис. 1

R1	1 мОм	0,25 Вт±20%	R14, R19	100 кОм	0,25 Вт±10%	R26	4,7 Ком	0,25 Вт±20%	Силовой трансформатор
R2	33 кОм	1 Вт ±20%	R15, R20	1 кОм	0,25 Вт±20%	C1, C2, C5, C8	8 мкФ	500В	анодная обмотка 2 x 425В, 150мА
R3	47 кОм	1 Вт±20%	R16, R18	100 Ом	1 Вт±20%	C3, C4	0,05 мкФ	350В	обмотка накала кенотрона 5В, 3А
R4	470 Ом	0,25 Вт±10%	R17, R21	100 Ом	подстроечные	C6, C7	0,25 мкФ	350В	обмотка накала ламп усилителя 2 x
R5, R7	22 кОм	1 Вт±5%			проволочные	C9	8 мкФ	600В	3,15В, 4А
R6	22 кОм	1 Вт±20%	R22	150 Ом	3 Вт±20%	C10	200 пФ	350В	V1, V2 L63 или 6J5, 6SN7, B65
R8, R9	470 кОм	0,25 Вт±20%	R23, R24	100 Ом	0,5 Вт±20%	CH1	30 Гн	20 мА	V3, V4 L63 или 6J5, 6SN7, B65
R10	390 Ом	0,25 Вт±10%	R25	1,2 кОм	√Z акустической системы	CH2	10 Гн	150 мА	V5, V6 KT66
R11, R13	47 кОм	2 Вт±5%			0,25 Вт				V7 53KU, 5V4

⁵ из-за нелинейности процесса намагничивания сердечника измеренное при этом значение индуктивности завышено в 4-6 раз по сравнению с действительным (истинным) значением, определяющим поведение трансформатора в низкочастотной области.

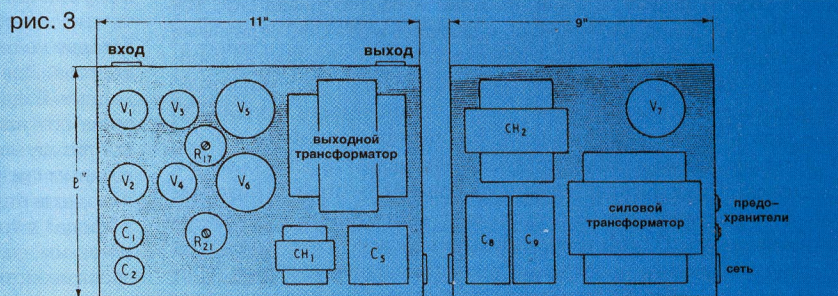
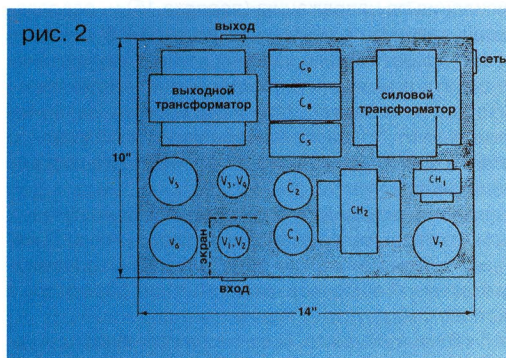
⁶ лампа L63 представляет собой одинарный триод, электрические параметры которого полностью идентичны параметрам половины 6SN7.

На рис.2 дано рекомендованное Вильямсоном расположение основных элементов усилителя на шасси, на рис.3 — то же самое для случая с отдельным блоком питания, а на рис.4 приведены конструктивные данные выходного трансформатора. В течение короткого времени эта схема приобрела чрезвычайную популярность во многих странах. Можно без преувеличения утверждать, что в последующие 10-15 лет после ее первой публикации она стала эталоном схемотехники, поскольку изготовленные в соответствии с ней усилители обладают очень высокими объективно измеряемыми качественными показателями и прекрасной их повторяемостью при относительной простоте конструкции, а главное хорошим звучанием. Усилитель Вильямсона стал популярен в США, где был немедленно адаптирован к американской элементной базе (лампы 6J5 или 6SN7, в качестве выходных генераторные тетроды 807). У нас в стране первые опубликованные материалы об этом усилителе без упоминания имени настоящего автора разработки (по-видимому, исходя из соображений борьбы с космополитизмом) относятся к 1950-1952 годам. В отечественных вариантах усилителя применялись лампы 6Н8С (иногда 6Н7С) в качестве драйвера и Г-807 или 6С4С на выходе.

Модная схема стала объектом многочисленных экспериментов радиолюбителей, перепробовавших всевозможные лампы и пытавшихся увеличить выходную мощность. С этой целью сначала пере-

исходная схема Вильямсона работоспособна и весьма неплохо звучит с разорванной цепью ООС, то ее многочисленные умощненные варианты зачастую неспособны функционировать без ООС вообще. Кроме того, пытаясь упростить конструкцию выходного трансформатора и при этом формально сохранить полосу воспроизводимых частот путем увеличения глубины обратной связи, неизбежно ухудшали динамическую устойчивость усилителя, несмотря на введение дополнительных цепей коррекции. В этот же период разработчики и изготовители акустических систем, принимая во внимание широкое распространение усилителей с глубокой ООС и повышенным (формально) в силу этого электрическим демпфированием громкоговорителей, стали сокращать габариты акустики и применять в ней более дешевые головки (главным образом за счет более дешевых магнитов с пониженной индукцией), что не лучшим образом отразилось на качестве звучания из-за снижения степени «внутреннего» демпфирования самих АС.

Вся эта идеология конструирования усилителей и акустических систем впоследствии была принята на вооружение и конструкторами транзисторных усилителей. Через некоторое время, когда все большее число людей стало обращать внимание на то, что многие старинные ламповые усилители со старинными же акустическими системами звучат намного естественнее и музыкальнее своих самых «крутых» потомков и начали докапываться до причин таких



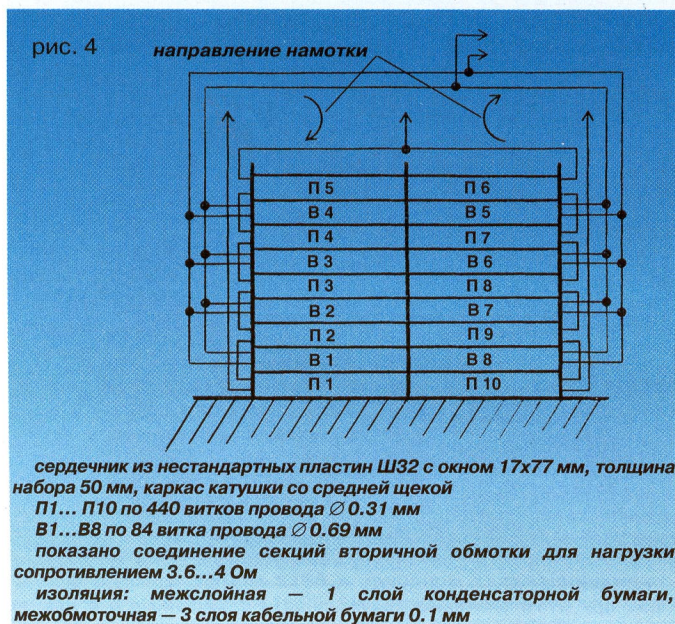
водили лампы выходного каскада в режим АВ, а позднее (после публикации в 1951 г. Хафлером и Керсом способа ультралинейного включения пентодов и лучевых тетродов) стал популярным ультралинейный выходной каскад в классе АВ. Таким образом, первоначальная выходная мощность 15 Вт была доведена до 40÷50 Вт. К сожалению, многочисленные «усовершенствования» схемы в погоне за выходной мощностью постепенно и незаметно вышли за пределы жестких ограничений, наложенных Вильямсоном (в первую очередь в отношении линейности каскадов и условий применимости ООС), принеся в жертву мощности качество звучания. Если

казусов, то во всем огульно обвинили именно обратную связь. То есть, вообще говоря, груда камней обрушилась не совсем в тот огород (о чем я уже писал, в частности в статье о фазоинверторах).

Говоря о многочисленных вариантах усилителя Вильямсона, считаю совершенно необходимым познакомить читателей с одной весьма примечательной концептуальной разработкой нашего соотечественника (к сожалению, ныне покойного) А.Пикерсгиля. Описание этой конструкции под названием «Усилитель и акустический агрегат» было опубликовано в № 8 журнала «Радио» за 1959 год. Это одна из первых (если не самая первая) разработка, сочетающая в себе такие реализованные на высоком техническом уровне решения, как Bi-Amping (два оптимизированных в своих частотных полосах усилителя мощности с частотой раздела полос около 800 Гц), акустическое оформление низкочастотных головок громкоговорителей с пассивными излучателями с регулируемой добротностью, а также корректирующий усилитель на пентоде 6Ж8 (функциональный аналог более современных ламп 6Ж32П и EF86) с трансформаторным входом. Правда, предназначался этот усилитель не для работы с МС-головкой звукоусилителя, а с низкоомной воспроизводящей головкой магнитофона. С другой стороны, в схеме можно заметить характерные для усилителей 50-х годов неадекватные, на мой взгляд, видоизменения схемы Вильямсона, в частности, наличие многопетлевых ООС, да еще с частично регулируемыми параметрами. В целом схема Пикерсгиля, представленная на рис.5 (на рис.6 приведены конструктивные данные выходных трансформаторов), на мой взгляд, представляет определенный интерес для самодельщиков, особенно для тех, кто склонен интересоваться историческими аспектами технического прогресса.

Завершая исторический экскурс, хочу предложить вниманию читателей одну из современных версий знаменитого усилителя (рис.7).

На рис.8 вы можете видеть вариант соединения секций первичной обмотки выходного трансформатора при выполнении выходного каскада по ультралинейной схеме.



Никита Трошкин

рис. 5

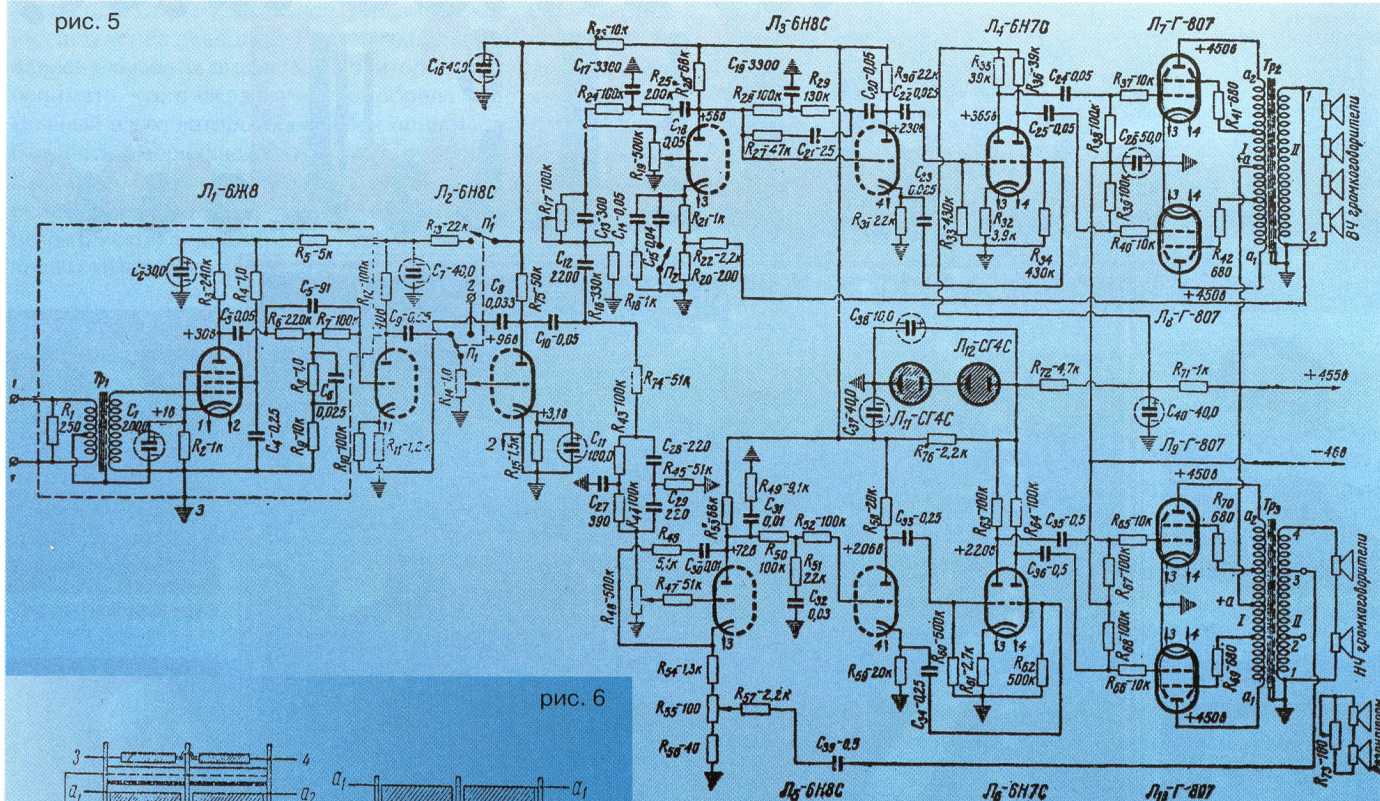
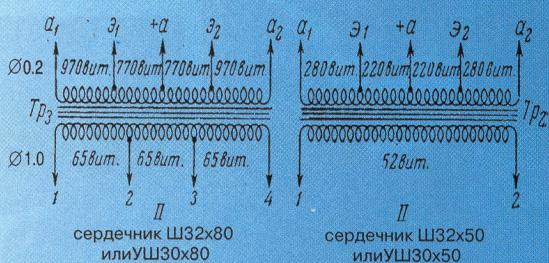
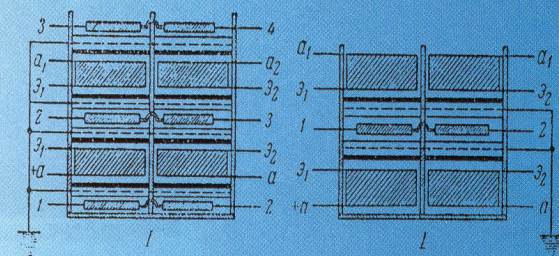


рис. 6



каждый межмоточный экран выполнен в виде незамкнутого витка медной фольги толщиной 0.05мм

рис. 8

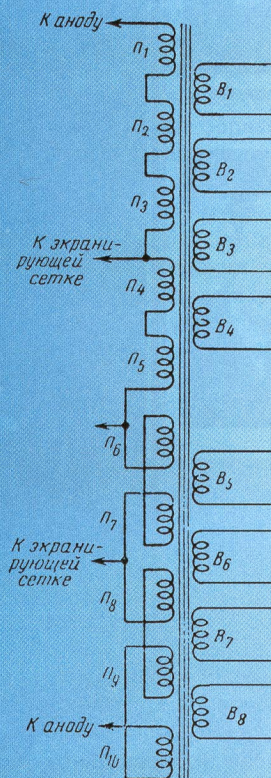
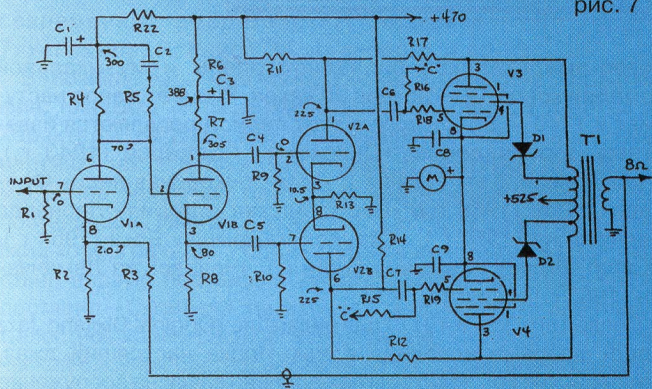


рис. 7



Редакция приносит извинения за опечатку, допущенную в статье Н. Трошкина «Отбор и тренировка», опубликованной в ноябрьском номере журнала «Class A». Формулу на стр. 34 следует читать:

$$\lambda' \approx \lambda_0 \left(\frac{U_{H'}}{U_H} \right)^{12}$$