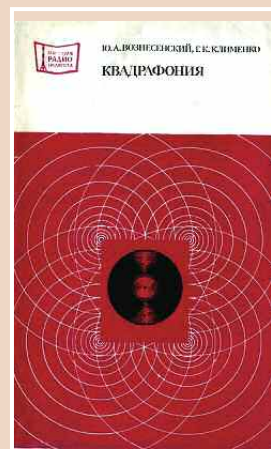


Объёмный звук — следующий шаг

А. КИРЕЕВ, ст. Лысогорская Ставропольского края

Автор статьи делится своим решением по реализации объёмного многоканального звука. Мнение редакции не во всём совпадает с мнением автора, тем не менее мы публикуем эту интересную статью в авторском варианте.

Свою статью я хотел бы посвятить Юрию Александровичу Вознесенскому и Геннадию Кузьмичу Клименко — авторам книги "Квадрафония", вышедшей в свет в 1979 г. [1].



В начале 90-х мне, ещё юнцу в области электроники и звука, попала в руки эта книжка и зародила юношеские идеи, которые на долгие годы я был вынужден отложить пылиться на полку до поры до времени. В те далёкие годы я понимал, что реализация подобных идей мне не по силам и тем более не по карману. Проходили годы, менялась и развивалась технология, а юношеская мечта всегда оставалась мечтой, хоть и давно заброшенной на пыльную полку. Теперь, четверть века спустя, я решил возродить некогда заброшенную юношескую идею, сделать из своей "сказки" нечто осязаемое. Ибо теперь я могу реализовать то, что тогда было мне не под силу и не по карману.

Объёмный звук и его развитие

Со времён изобретения фоноавтомата Эдуаром Леоном Скоттом де Мартенвилем в 1857 г. многие годы (до 1930-х годов) цивилизация наслаждалась монофоническими записями на грампластинках, пока в Филадельфийской Академии музыки не появилась на свет первая стереофоническая запись на восковом диске. Теперь мы не просто слышали музыку, но и ощущали эффект присутствия. Шли годы, и стерео перешло с грампластинок на магнитные ленты, а с появлением цифровых технологий стерео успешно перешло на CD. Последний известный многим прорыв в области звуковоспроизведения произошёл с появлением на свет DVD и домашних кинотеатров, мы перешли от монофонии и стерео к объёмному звуку (рис. 1). За многие годы звуковоспроизведения пошло в сторону увеличения каналов, разделяя звук на НЧ, СЧ, ВЧ и создания многополосных акустических систем, а также создания сабвуферов как отдельного класса, и привычное 2.0 переродилось в 2.1. А с появлением DVD потребовалось очередное увеличение каналов звуковоспроизведения, и появилось 5.1, которое развилось в 7.1 и дальше в 10.2, 16.2, 22.2 [2]. Так куда мы идём? Куда развиваемся? Что будет дальше — 30.6, 100.10, 1000.500, XXXX.XXX?



Рис. 1

Давайте остановимся и подумаем

Многие теоретики и практики связывают восприятие звуков человеком с теорией, описываемой "бинауральным эффектом", по аналогии с бинокулярным зрением, так как у нас два глаза и два уха [3, 4]. На этой теории основаны все разработки, известные как Dolby Stereo, Dolby Digital, Dolby Surround, Dolby Pro Logic, Dolby TrueHD и т. д., а также разработки других не менее известных компаний [5]. Но есть один парадокс, о котором никто из сторонников бинауральной теории не задумывается, он — из области геометрии. Как на основании двух точек создать в пространстве объёмную фигуру?

Это невозможно. На основании двух точек вы сможете создать только отрезок или линию, но никак не сможете создать ни плоскость, ни тем более объёмную фигуру. На основании трёх и более точек вы можете создать простейшую фигуру и плоскость, а простейшую объёмную фигуру можно создать только на основании минимум четырёх и более точек. Это неоспоримо, как $2 \times 2 = 4$.

Именно поэтому автор в корне не согласен с бинауральной теорией, так как она не способна посредством двух точек восприятия объяснить то, что реально слышит и воспринимает человек. Я не медик и не физиолог и не могу объяснить, как на самом деле работает наше восприятие звуков. И даже те, кто

считает, что они знают всё об этом, ошибаются.

Постараюсь объяснить свою точку зрения примитивно — "на пальцах", посредством эксперимента над самим

системами объёмного звучания — это плоскости, и все звуковые эффекты здесь возможны только в пределах плоскости, сколько бы каналов воспроизведения мы не добавляли. Всё, что

вы считали объёмным звуком, — это обман, спецэффект и не более того. А чтобы создать реальную объёмную систему звуковоспроизведения, мы должны выйти за пределы плоскости к

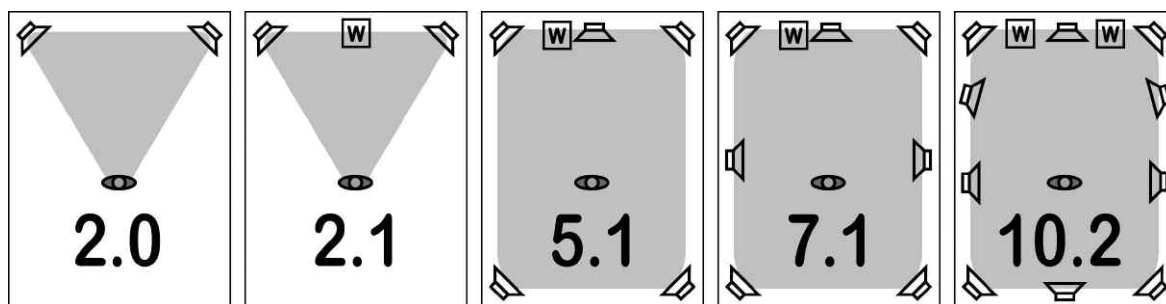


Рис. 2

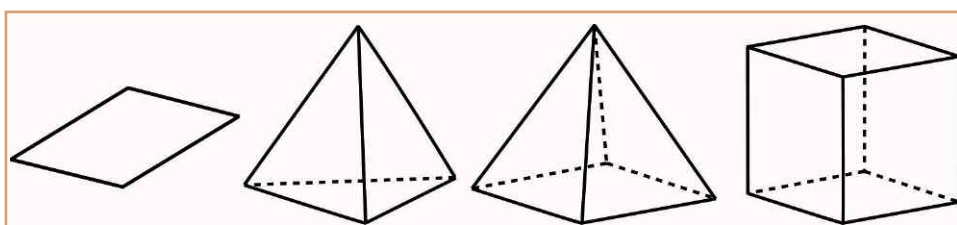


Рис. 3

собой, который может повторить любой желающий. Для этого нам понадобится любое место, наполненное различными звуками — в городе или на природе, промзоне или офисе — совершенно безразлично. А теперь предлагаю просто расслабиться, закрыть глаза и просто слушать, оставаясь неподвижно. Несколько минут послушать всё и вся, что происходит вокруг, все шумы и звуки. Попробуйте, ничего не делая, послушать все окружающие звуки и определить, откуда они исходят. Не открывая глаз, повернитесь в одну сторону, потом в другую, пошаркайте ногами. Не меняя положения головы, поднимите руки, пощёлкайте пальцами на разных уровнях и перед собой. Попытайтесь мысленно определить, откуда какой звук исходит. Не получилось с первого раза, попробуйте ещё раз.

Любой человек, не страдающий серьёзными проблемами со слухом, способен определять в трёхмерном пространстве источники звука и их положение в этом самом трёхмерном пространстве. Любой человек может определять направление источника звука не только слева или справа, но и спереди или сзади, сверху или снизу. Такими нас сделала природа, наше восприятие звуков превосходно работает в трёхмерном пространстве, и бинауральная теория не в состоянии этого объяснить посредством двух точек и фазовых смещений. Мы воспринимаем звуки более чем двумя точками, иначе мы не могли бы определять направление звука в трёхмерном пространстве.

А теперь посмотрите на знакомые нам системы звуковоспроизведения (рис. 2). Все эти системы не являются

реально объёмному пространству (рис. 3).

И здесь мы видим, что для создания простейшей объёмной фигуры тетраэдра нам нужно минимум четыре вершины, для пирамиды — пять, для куба — восемь. То есть, для того, чтобы создать минимальную систему объёмного звуковоспроизведения, нам

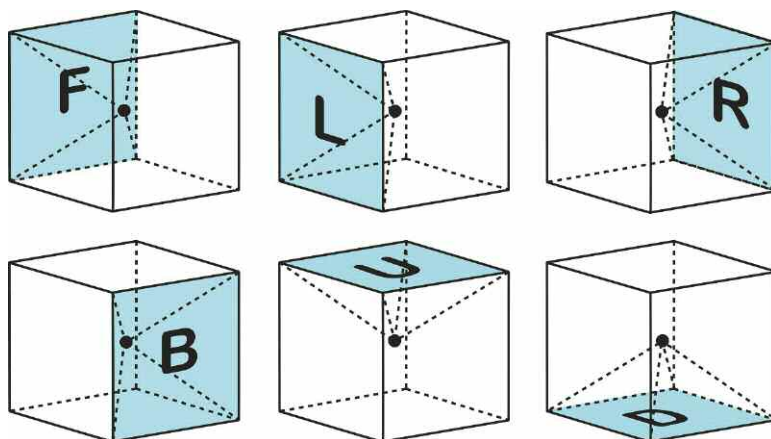


Рис. 4



Рис. 5

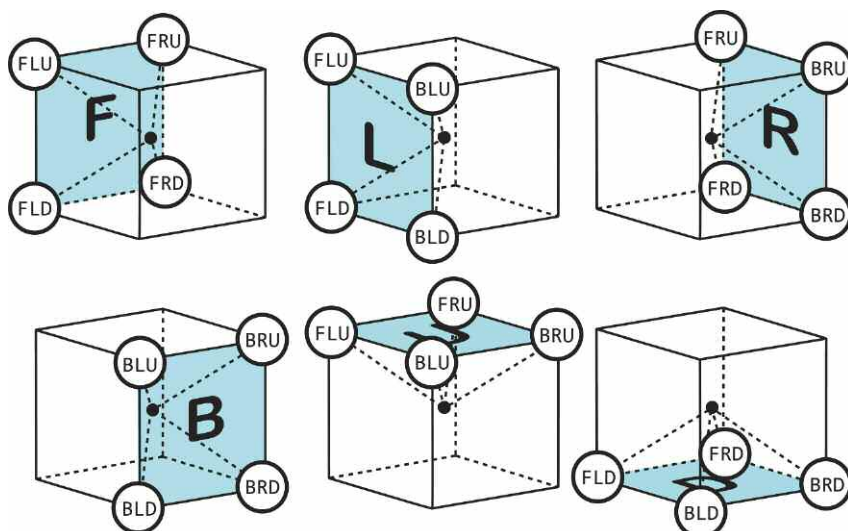


Рис. 6

Channel index			Channel name	Предлагаемая схема
MP3/WAV/FLAC	DTS/AAC	Vorbis/Opus		
0	1	0	Front Left	1-Front Left Down (FLD)
1	2	2	Front Right	2-Front Right Down (FRD)
2	0	1	Center	3-Front Left Up (FLU)
3	5	7	Subwoofer Frequency	4-Front Right Up (FRU)
4	3	3	Rear Left	5-Back Left Down (BLD)
5	4	4	Rear Right	6-Back Right Down (BRD)
6	6	5	Alternative Rear Left	7-Back Left Up (BLU)
7	7	6	Alternative Rear Right	8-Back Right Up (BRU)

нужна минимум четырёхканальная система записи и воспроизведения, а самым правильным решением будет куб либо параллелепипед с восемью вершинами, так как именно такая фигура идеально вписывается в пространство комнат и помещений. Значит, для получения реального 3D-звука нам нужны восьмиканальная система записи и воспроизведения и восемь акустических систем, расположенных по углам помещения (рис. 4). В лихие 90-е реализация такой системы для меня была попросту недостижимой. Тогда не было в доступности многоканальных систем, за исключением студийных многодорожечных, о которых простой сельский парень не мог даже и мечтать. Именно поэтому свою идею объемной звукозаписи я вынужден был положить пылиться на полку.

Возрождение из пыли

Спустя годы, когда у многих уже есть компьютеры, домашние кинотеатры с системой 5.1, все считают это "крутым" объемным звуком, а у меня всё это вызывает ухмылку. Все последние годы смотрю и удивляюсь — прошло столько лет, а никто так и не пришёл к этому простому геометрическому решению. Тогда, четверть века назад, у меня были достаточно веские причины положить

свою идею пылиться на полку. Теперь, во времена компьютерного бума, я нашёл возможность довести свою идею до конца.

Первое, с чем столкнулся, — это то, что до сих пор все фонограммы пишутся на студиях в обычном стереорежиме, а всё остальное — только спецэффекты и не более того. Значит, для этого мне нужно самому записывать свои многоканальные фонограммы. Но оказалось, что все звуковые карты 5.1 и 7.1, хоть и могут воспроизводить многоканальный звук, записывать могут только обычное стерео, а производить звукозапись с нескольких звуковых карт проблематично. Пришлось искать нужное в среде профессионального многоканального звукозаписывающего оборудования. Многие годы такое оборудование было и остаётся не по карману любителю-экспериментатору, но времена меняются, и появляется то, что уже по карману. Alesis io26 и MOTU UltraLite, показанные на рис. 5, — доступные решения для многоканальной записи, о которых когда-то можно было только мечтать.

Как реализовать

Теперь можно реально записать и воспроизвести восемь каналов звука, но остаётся вопрос: как это делать? К тому же это надо сделать с некоторой совместимостью с уже существующими форматами и стандартами записи и воспроизведения. Наиболее подходящий для этих целей формат ANSI/CEA-863-A, который позволит использовать для воспроизведения уже распространённые звуковые карты формата 7.1 (см. таблицу). Стандартные восемь каналов разделены на группы

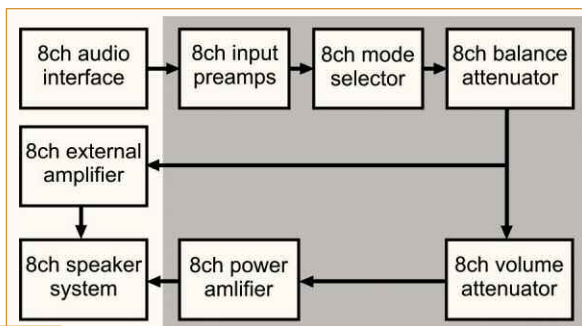


Рис. 7

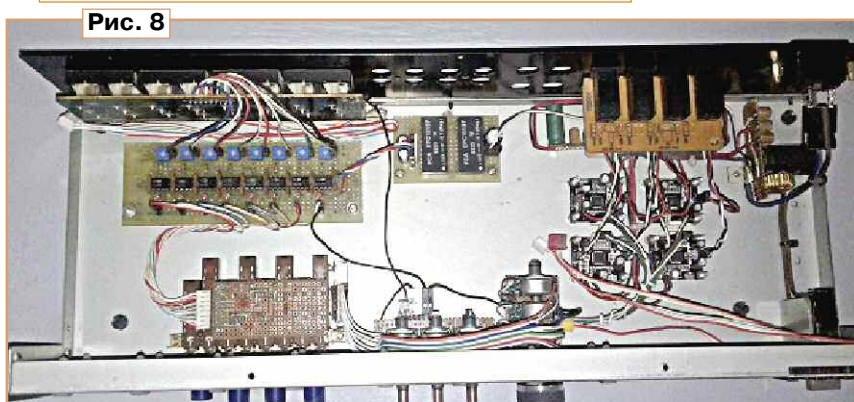


Рис. 8

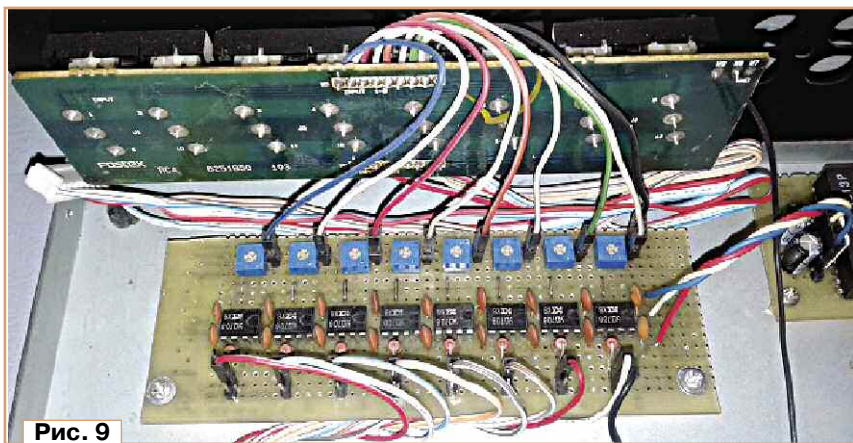


Рис. 9

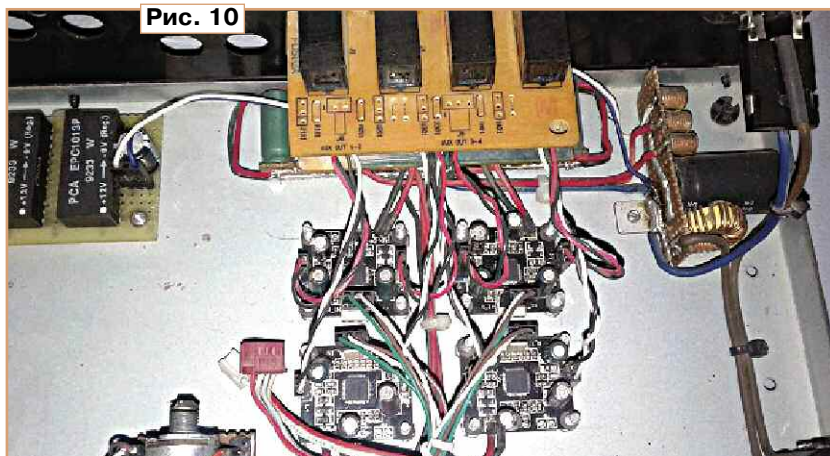


Рис. 10

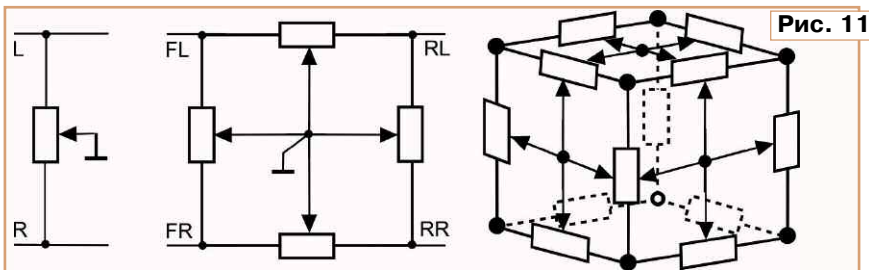


Рис. 11

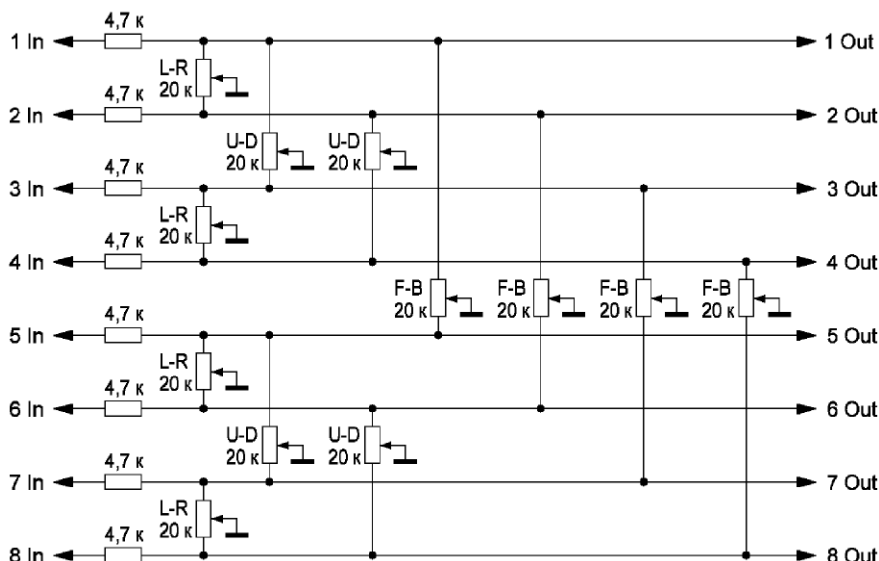


Рис. 12

Front/Back, Left/Right и Up/Down, каждый из восьми каналов имеет трёхзначное обозначение, и эти каналы уже формируют нужные нам плоскости в пространстве (рис. 6). Эта модель, в отличие от всем известных, не плоская, а уже объёмная и трёхмерная. Она и будет основой нашей системы. Остаётся только обзавестись восемью широкополосными акустическими системами, а также собрать восьмиканальную систему записи и восьмиканальную систему воспроизведения.

Система воспроизведения

Система воспроизведения построена по схеме, схожей с обычными аудиоресиверами, и расширена до восьми каналов. Её блок-схема приведена на рис. 7. Экспериментальный образец собран в корпусе от микшера Fostex 2016, его внешний вид показан на рис. 8. Входной каскад собран на ОУ КР140УД708 (рис. 9). Выходной каскад собран на бюджетных УМ РМ8610 класса D. 5...10 Вт мощности было достаточно для экспериментов. Внешний вид УМ показан на рис. 10. Справа виден входной фильтр питания. Слева — DC-DC преобразователь с гальванической развязкой для питания усилителей.

3D-регулятор баланса

Типичную схему регулировки баланса между каналами пришлось также модернизировать. За основу берётся четырёхканальная модель, широко используемая в автозвуке, и преобразуется в трёхмерную, где средние точки всех плоскостей сходятся на один общий провод. Она приведена на рис. 11. Её собирают по схеме на рис. 12. Конструктивное решение в виде отдельного модуля показано на рис. 13. Для того чтобы его собрать, пришлось обзавестись токарным станком и выточить некоторые детали самому.

Блок коммутации

Схема блока приведена на рис. 14. Изначально он задумывался для унификации с обычными системами и возможности воспроизведения обычных форматов 2.0 и 5.1 в пределах моей трёхмерной восьмиканальной модели. Как видно из схемы, блок имеет четыре режима коммутации каналов:

2.0 — для совместимости со стереозаписями, где не используется задний план;

2.0 Extra — расширенное стерео с использованием заднего плана;

5.1 — трансформация звука 5.1 в восьмиканальный (заложен на будущее);

8.0 — непосредственно режим с восемью независимыми каналами.

В режиме "2.0" используются фронтальные две левые и две правые АС, что полностью повторяет обычный стереоэффект на четырёх фронтальных АС. В режиме "2.0 Extra", помимо фронтальных, задействованы тыловые АС, четыре левые и четыре пра-

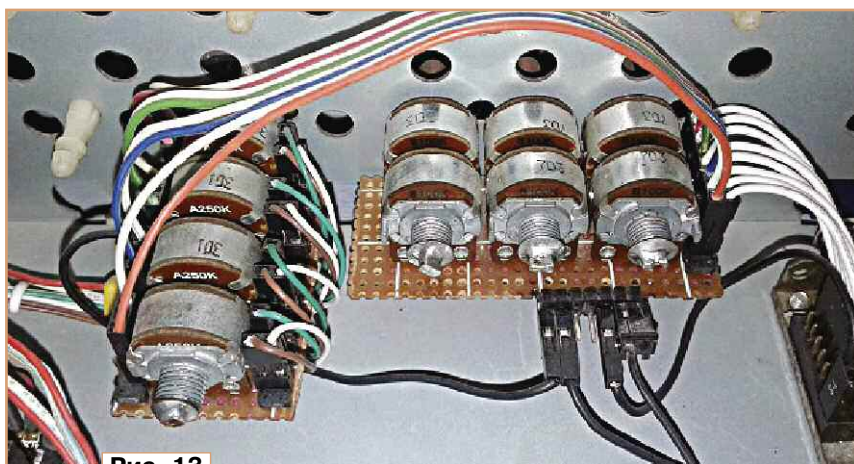


Рис. 13

вые, что позволяет получить восприятие стерео, схожее с головными телефонами. В режиме "5.1" фронтальные и тыловые каналы коммутируются на аналогичные пары, а центр и вуфер распределяются между фронтальными АС. Ну, а в режиме "8.0" мы получаем все каналы независимыми друг от друга. Этот модуль показан на рис. 15, со временем к нему будут добавлены "обвязка" для совместимости с другими форматами и выход на внешний усилитель.

Система записи

Теперь остаётся записать живой звук в нужном нам формате, для того чтобы всё это ожило и дало ожидаемый эффект. В основе мобильной системы записи применён MOTU UltraLite mk2, в

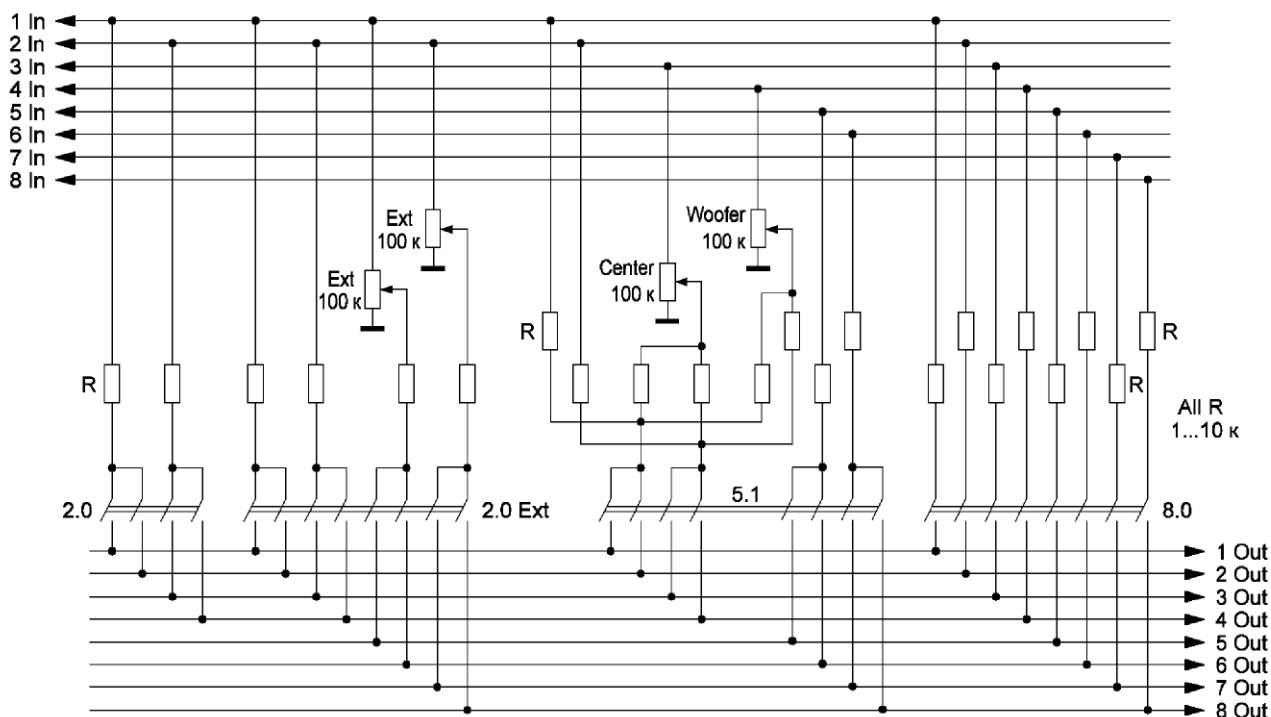


Рис. 14

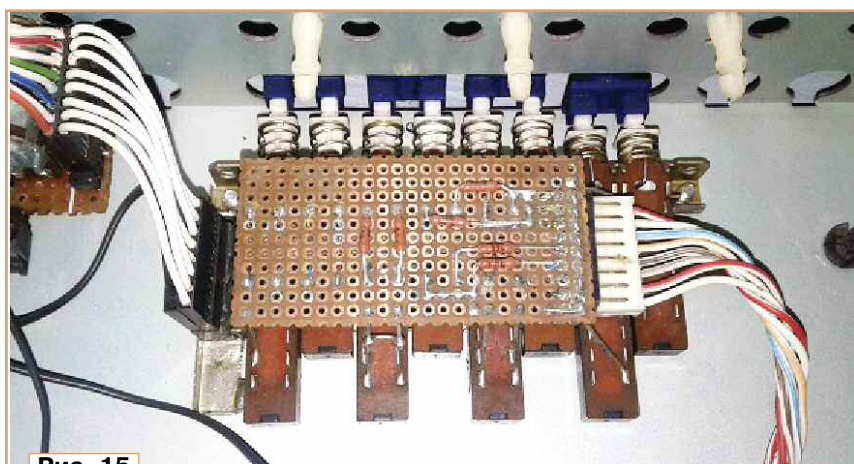


Рис. 15

стационаре — Terratek EWS88MT. В качестве ПО — бесплатный Audacity. Первая модель 3D-микрофона, фото которого приведено на рис. 16, к моему сожалению, дала результат далёкий от ожидаемого.

Одно дело собрать восемь микрофонов в некую конструкцию, совсем другое — изолировать микрофоны друг от друга, заставить каждый из микрофонов слышать только свою зону и не слышать ничего другого. Иначе для получения нужного эффекта при воспроизведении записанный звук придётся подвергнуть цифровой обработке, а это добавит ещё дополнительные проблемы с разработкой своего собственного софта.

И вот тут прогресс затягивается, готовых фонограмм в подобном формате в мире пока не существует, запи-



Рис. 16

мате, которые без проблем воспроизводятся как MediaPlayerClassic, так и всем известным WindowsMedia Player (WAV семплы).

Не считаю себя специалистом по звукозаписи и созданию спецэффектов и приму любую помощь в создании фонограмм в таком многоканальном формате. А для тех, кто отважится заниматься самостоятельно созданием фонограмм в таком формате, могу дать некоторые рекомендации по настройке системы.

Для включения многоканального режима в Audacity, в настройках, помимо выбора "Устройства WASAPI", надо в параметрах "Импорт/Экспорт" опцию "Микс в стерео или моно" переключить в "Выполнить заданное микширование", после чего Audacity позволит сохранять многоканальные семплы, а не



Рис. 17

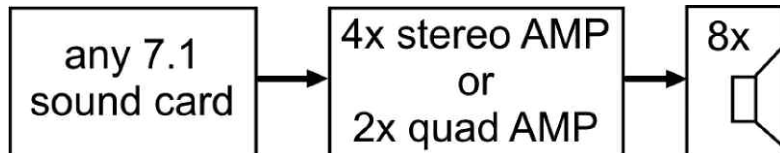


Рис. 18

сать подобную фонограмму с достаточным качеством тоже проблематично, остаётся и дальше заниматься изысканиями.

В заключение

Пока я делал свой блок воспроизведения, в Германии компания Microtech Gefell уже сделала систему 3D-записи M Cube, показанную на рис. 17 [6]. Желая собрать подобную систему могут использовать более простую схему без блока коммутации режимов и регулятора баланса каналов, приведённую на рис. 18. Для этого понадобится любая звуковая карта как минимум с восемью аналоговыми выходами, а это все карты с поддержкой 7.1 как внешние, так и интегрированные. Четыре обычных стереоусилителя или два автомобильных

четырёхканальных, а также восемь одинаковых широкополосных акустических систем или четыре пары обычной стереоакустики. Сателлиты от систем 5.1 и 7.1 использовать можно, но у них отсутствуют низкие частоты. Ресиверы 5.1 и 7.1 тоже не подойдут, так как у них не все каналы имеют одинаковую АЧХ и встроенные DTS-процессоры будут только мешать. К звуковым картам особых требований нет, почти все карты, даже на низкочастотный выход для сабвуфера, выдают полный частотный диапазон (проверял лично), но вполне возможно, что для некоторых "продвинутых" карт придётся принудительно отключать все программные фильтры и DTS-обработчики, чтобы они не мешали.

Для проверки системы могу предложить свои тестовые семплы в WAV-фор-

мате, только стерео. Моя MOTU UltraLite по умолчанию в Windows создаёт четыре стереоустройства, чтобы её заставить работать в режиме 7.1 в утилите MOTU Audio Console выбираю Phone Assignment как "Phone 1-2", а Main Out Volume как "7.1 Analog 1-8", после чего четыре стереоустройства исчезают, и появляется одна восьмиканальная MOTU Analog.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский Ю. А., Клименко Г. К. Квадрафония. — М.: Энергия, 1979. — URL: www.radiolamps.ru/library/mrb/mrb-0986.html (10.03.20).
2. Surround sound. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Surround_sound (10.03.20).
3. Sound localization. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_localization (10.03.20).
4. Термен-центр. Центр электроакустической музыки. — URL: asmir.info/lib/acoustics6.htm (10.03.20).
5. Dolby Laboratories. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dolby_Laboratories (10.03.20).
6. Highlight 2019 — M Cube — Microphone System for 3D recordings. — URL: <https://www.proaudio.de/en/news/recording/22367-microtech-gefell-news-3d-audio-en.html> (10.03.20).