

ОСТАВШИЕСЯ НЕЗАМЕЧЕННЫМИ

Человеку, столкнувшемуся с аудиофильным сообществом, чтящим аппаратуру звуковоспроизведения high end, поначалу многое кажется непонятным. Почему усилители и проигрыватели стоят так дорого? Они что, золотые? Зачем нужны большие колонки, когда маленькие по параметрам ничуть не хуже?

Однако со временем четкие представления о ручной работе, мелкосерийном производстве, ценности уникальных конструктивных решений (вместе с восприятием собственно результатов этого труда) позволяют найти разумное объяснение этим и многим другим особенностям, удивляющим непосвященных.

Одной из самых «странных странностей» для многих всего дольше остается пристальное, в чем-то даже болезненное, внимание high-end-сообщества к соединительным кабелям для аппаратуры. Как провода могут влиять на звук? Почему кабель от усилителя к колонкам может стоить столько же, сколько плазменный телевизор?

Даже со всеми поправками на специфику малотиражной и творческой индустрии high end трудно увязать понятия «кабель» и «шедевр звуковоспроизведения». Парадокс еще в том, что ответ на вопросы «почему кабели влияют на звук» и «почему хороший кабель стоит дорого», кроется в физике процессов, протекающих в проводах. При этом подавляющее большинство инженеров-электриков, воспитанных на теории электрических цепей (применяемой в телефонии), как раз считают, что аудиокабели все одинаковы и на звук влиять не могут.

От разъема до разъема

Если помните, я уже рассказывал в *Art Electronics* об одной из областей high-end-аудио — о проигрывателях грампластинок. А теперь — некоторые подробности о совсем незаметных кабелях, соединяющих те же проигрыватели с усилителями, а усилители с акустическими системами. Да,

Сергей Корольков



они незаметны, но без них аудиосистема не будет «играть».

Задача у кабеля вроде бы простая — он должен передать сигнал от одного компонента к другому в нетронутым виде. Каким сигналом был на входе, таким он должен остаться на выходе.

Что происходит внутри кабеля, во многом остается загадкой до сих пор. Попробуем вкратце рассказать (пользуясь в основном простой физикой и почти не затрагивая субъективных аспектов восприятия качества звука) о различных явлениях, связанных с прохождением сигнала по проводам. И тогда, надеюсь, можно будет чуть-чуть приблизиться к ответу на вопрос, может ли кабель «звучать».

1. Протекание электрического тока в кабеле, представленном эквивалентной электрической схемой (емкость, индуктивность, сопротивление).

Основатели теории электрических цепей — Ом, Ампер, Лейден — в свое время создали модель протекания тока в проводнике и предложили удобную схему замещения его набором стандартных электроэлементов: сопротивления, емкости и индуктивности*.

Сопротивление кабеля зависит от площади сечения проводника и практической роли при переносе аудиосигнала в hi-fi-системе не играет.

Емкость и индуктивность зависят от взаимного расположения проводников и других геометрических свойств кабеля целиком. Интересно, что индуктивность минимальна, когда «прямой» и «обратный» провод максимально близки, емкость же в этот момент максимальна. Иначе говоря, геометрическое противоречие не позволяет одновременно снижать и емкость, и индуктивность — возможен лишь компромисс.

Сопротивление кабеля вместе с его емкостью или индуктивностью могут образовывать на пути сигнала фильтрующие цепи, но до определенного предела «паразитная емкость»

кабеля не оказывает никакого влияния на прохождения по нему аудиосигнала. Индуктивность меняет сигнал всегда, хотя и очень слабо.

Для кабеля, несущего малые сигналы (от проигрывателя к усилителю, например), паразитная емкость более опасна как возможный фильтр, а для прохождения мощных сигналов в кабеле от усилителя к акустическим системам более неприятна индуктивность.

В последнем случае, правда, следует помнить и о том, что кабель вместе с акустической системой является нагрузкой для усилителя, а для некоторых схем усилителя превышение определенной величины емкости может вызвать потерю стабильности и самовозбуждение.

Итак, емкость и индуктивность кабеля будут влиять на проходящий по нему сигнал и менять его амплитуду и фазу — особенно на высоких частотах. Величина этого влияния в подавляющем большинстве случаев будет невелика. Судя по всему, не особо велик и вклад паразитных электрических элементов кабеля в ущерб, нанесенный субъективному качеству звука.

Нельзя не отметить, что данная модель кабеля возникла еще в XVIII–XIX веках, когда не задумывались о дуализме «волна-частица» или квантовой механике. Кроме того, никакой аудиоаппаратуры тогда не предвиделось, так что кроме закона Ома для описания процессов, происходящих в аудиокабеле, требуется что-то еще.

Волновое сопротивление кабеля (оно вычисляется из тех же емкости, индуктивности и сопротивления) не имеет значения для сигналов звуковой частоты, передаваемых по кабелю между аудиокомпонентами. Обычно компоненты согласованы по сопротивлению при любом применяемом кабеле.

Повышенная емкость кабеля может вызвать искажения сигнала, причем возникнут они не в самом кабеле, а как следствие его появления в системе источник сигнала–нагрузка.

Ну и, наконец, чем короче кабель, тем меньше его емкость, так что при длине соединения 0.5–1 м, влиять ни на что она, скорее всего, не будет.

2. Появление и взаимодействие полей в кабеле. Скин-эффект. Электростатическое и электромагнитное поле кабеля.

Электрический потенциал переносится как ток внутри проводника и как поле за его пределами. С этим связано несколько явлений, влияющих на переносимый сигнал.

Поверхностный эффект. Максимальная плотность тока и электромагнитного поля, которое он создает, приходится на поверхность проводника. Снижение плотности тока в центре проводника зависит от частоты передаваемого сигнала. Оно на звуковых частотах не так уж велико. Однако поверхностный эффект даже на сравнительно низких звуковых частотах приводит к тому, что частотные составляющие аудиосигнала, проходя через проводник, сталкиваются с разными «путевыми» условиями. Иначе говоря, низкочастотные сигналы в кабеле чувствуют себя вольготнее в любом месте сечения проводника. Тогда как высокие частоты выталкиваются к поверхности, особенно когда у проводящих жил большое сечение (превышающее в сумме 0.8 мм). А значит, они текут по более «узкому» месту с более высоким сопротивлением переменному току (импедансом).

Но вернемся к тому, что протекание тока вызывает появление электромагнитного поля. И не его одного — проводник окружен диэлектриком. Стало быть, возникает еще и электростатическое поле. Поля эти взаимодействуют друг с другом и с сигналом переменного тока, текущим в кабеле. Результатом взаимодействия неизбежно являются искажения сигнала, пусть и небольшие.

3. Кабель как конденсатор. Накопление и разряд емкости заряда.

Любой кабель можно назвать устройством накопления заряда, то есть конденсатором. По определению, конденсатор — это два проводника, разделенные непроводником. В зависимости от характера текущего сигнала «кабельный» конденсатор то заряжается (запасает энергию), то разряжается (отдает энергию). Заряд конденсатора не мешает протеканию аудиосигнала, но разряд... В полезный сигнал примешивается, да еще в противофазе, новый сигнал непонятного вида. Естественно, это приводит к искажениям. Величина их будет зависеть от свойств диэлектрика кабеля, то есть от того, хранит ли он всю запасенную энергию или часть ее преобразуется в тепло. И еще от того, насколько сильно зависит от частоты величина «обратного разряда», насколько долго он задерживается в «кабельном конденсаторе», насколько «противофазен» он полезному аудиосигналу.

Емкостной разряд является серьезным фактором, существенно «портящим» сигнал.

4. Кабель как проводник с кристаллической структурой.

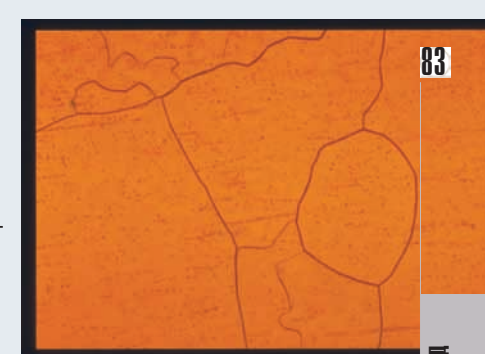
Обычная медь — хороший проводник тока. В си-

СТРУКТУРА КРИСТАЛЛА МЕДИ

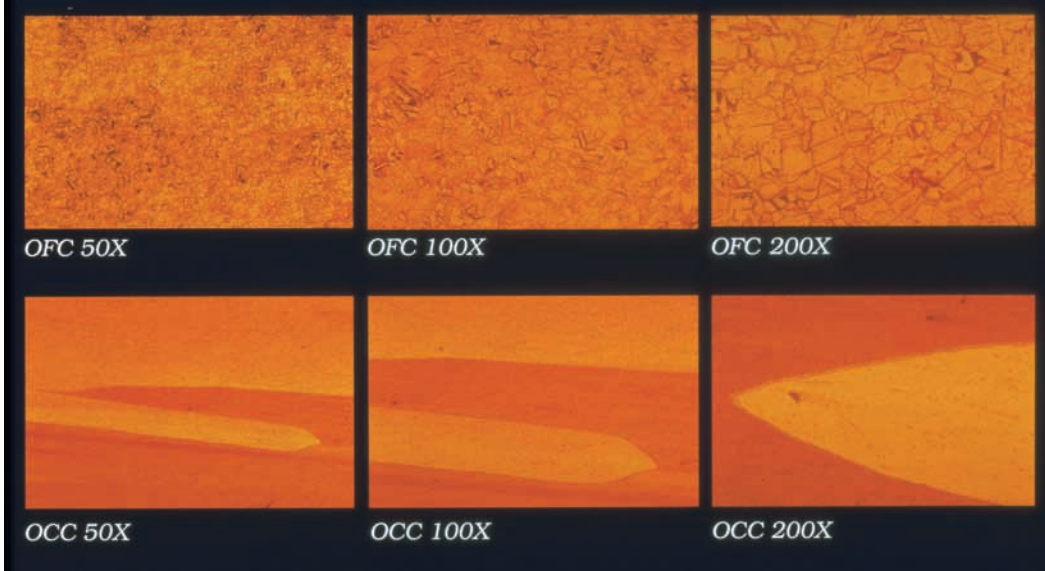
ОБЫЧНАЯ МЕДЬ



МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ МЕДЬ



*Индуктивность — мера магнитного потока, возникающего при протекании тока по проводнику. Если ток переменный, то магнитный поток будет меняться, генерируя «противоток», величина которого растет на высоких частотах. Иначе говоря, индуктивность есть противодействие (сопротивление) быстрым (высокочастотным) изменениям тока в проводнике. Если прямой и обратный провода находятся достаточно близко друг к другу, то их «противотоки» будут взаимокompенсироваться, и общая индуктивность кабеля уменьшится.



ловых кабелях электропроводки как правило используется очищенная медь, размеры кристаллической структуры которой дают около 5000 кристаллов на погонный метр. Для пути электрического тока каждый переход от одного кристалла к другому может быть заменен эквивалентной электрической схемой: со своим сопротивлением, индуктивностью, емкостью и даже диодными свойствами полупроводника (вентильный эффект). Очевидно, что чем меньше таких переходов в кабеле, тем меньше он будет влиять на передаваемый сигнал.

Следующий этап очистки меди — так называемая бескислородная медь (по-английски OFC). В ней меньше окислов меди, отвечающих за вентильный эффект на кристаллических переходах, и самих кристаллов примерно втрое меньше, чем в обычной очищенной электромеде.

Японские металлурги в 70-е годы прошлого века разработали несколько способов «медленного» фильтрации меди, в результате которого получается либо длинокристаллическая (100 кристаллов на погонный метр, OCC) или даже монокристаллическая медь (кристаллы длиной примерно от 10 до 300 м, OCC).

Кроме методов обработки меди для проводника на его кристаллическую структуру потом будут непрерывно влиять механические факторы (сгиб и скручивание легко разрушает длинные кристаллы) и окружающая среда (агрессивные вещества, попадающие из воздуха, также приводят к разрушениям внутри структуры металла и на его поверхности).

В последнее время некоторые производители начали использовать криогенную (жидким азотом) низкотемпературную обработку проводника, которая может способствовать уменьшению числа кристаллов и вообще благоприятно влиять на проводимость кабеля.

5. «Скорость» кабеля

Электрический потенциал распространяется в кабеле с конечной скоростью, причем она зависит от материала диэлектрика. В вакууме она была бы равна скорости света, в реальных условиях — несколько меньше. Если скорость распространения сигнала в разных кабелях разная, то, вероятно, есть оптимальное значение этого параметра, при котором переносимый сигнал подвергается минимальному вмешательству. Судя по всему, это происходит при максимальной скорости распространения сигнала.

6. Внешние факторы

Это радиочастотные помехи (мобильная связь, радио- и телепередатчики), электромагнитные помехи, вибрации (например, от звука акустических систем), передаваемые через воздух или поверхность пола. Все эти воздействия будут влиять на сигнал, несомый кабелем. Его конструкция может предусматривать защиту от этих воздействий: скажем, от радиопомех спасает экранирование кабеля, от вибраций можно оградиться, увеличив массу кабеля или сделав ему специальную оболочку. От электромагнитных помех защитить его на практике невозможно.

7. Материальное воплощение

Теоретический «проводник» в кабеле представляет собой одну или несколько жил из металла с высокой проводимостью. Как правило, это медь, покрытая оловом или серебром. Либо просто серебро. Иногда применяются золото, сплавы с редкими металлами (иридий, палладий). Одна фирма применяет неметаллические проводники из углеволокна, которые хоть и имеют высокое сопротивление, но не подвержены старению, воздействию окружающей среды и состоят из механически прочных длинных кристаллов.

В качестве диэлектрика применяются поливинилхлорид, полиэтилен, фторопласт и некоторые другие пластики. Степень их плотности может быть разной, довольно часто применяются легкие вспененные материалы, в которых часть диэлектрических функций выполняет воздух.

Изоляционные материалы характеризуются диэлектрической постоянной, которой описывается способность запасать энергию. А запасенная энергия скорее всего вернется обратно в сигнал и исказит его. Поэтому, чем меньше диэлектрическая постоянная, тем лучше.

Диэлектрическая постоянная вакуума равна единице, у ПВХ она равна 6, у фторопласта (тефлона) — 1,5–2, в зависимости от его категории. Вспененные материалы могут иметь более низкое ее значение, но не следует забывать, что пузырьки воздуха придают «колебания» параметрам диэлектрика в разных точках пути сигнала.

Различается и скорость «разрядки» диэлектрика: ПВХ отдает заряд дольше всего, а значит, его воздействие на полезный сигнал будет длиться дольше.

Имеет ли high-end-кабель право на жизнь?

Описывая многочисленные физические явления, связанные с протеканием тока в кабелях, особенности материалов и процесса производства, приходишь к мысли, что сделать такую простую вещь как соединительный кабель можно слишком по-разному. Разниться будут и результаты: как объективные искажения, которые кабель вносит в передаваемый сигнал, так и субъективное, на слух, восприятие этих искажений.

Однако производителей кабелей, пожалуй, действительно слишком много. И, похоже, часть из них даже не задумывается о физике происходящих в их продукте процессов. Кабель действительно прост. Изготовить его очень легко, и назваться разработчиком high-end-кабеля при желании может кто угодно. Нужно только соединить провод и разъемы — и устройство готово к работе. Согласитесь, сделать усилитель несколько сложнее.

И все же вернемся к началу. Кабель должен влиять на звук, так как вносит в передаваемый сигнал изменения. Пока не станем говорить о том, насколько заметно на слух это влияние и почему не все его слышат. Не коснулись мы и такого элемента кабеля как разъемы. Не описали подробно конструктивные решения наиболее популярных производителей — они все очень разные.

Поэтому — продолжение следует...

