

Михаил Чернецкий

Алексей Лукин

Устройства динамической обработки сигналов

В настоящее время существует огромное количество различных приборов для динамической обработки звуковых сигналов - это компрессоры, пороговые ограничители (гейты), экспандеры, левеллеры, лимитеры и т.д., а также их программные аналоги. В таком многообразии нетрудно и запутаться... Какой прибор необходим в конкретной ситуации? Чем отличаются приборы, имеющие схожее действие, например, гейт и экспандер? А компрессор и левеллер? И таких вопросов - множество. Включая и наиболее часто встречающийся - для чего вообще нужна "динамическая обработка"?

Устройства динамической обработки сигналов применяются в двух случаях: либо в художественных целях (это тема особого разговора), либо для получения более качественного звучания. Но что значит - более качественного? Разве "живое" звучание - недостаточно хорошо? В концертном зале - да, конечно. Но в тех случаях, когда сигнал необходимо записывать, или передавать по линиям связи, мы сталкиваемся с тем объективным фактором, что динамический диапазон любого тракта, к сожалению, ограничен.

Указываемые параметры цифровых записей, например, динамический диапазон в 96 дБ, не совсем верны. Если рассматривать их как отношение самого громкого сигнала к уровню шумов в паузе – цифры правильны. Однако это справедливо только для сигналов максимальной амплитуды. Реальные же звуковые сигналы имеют довольно большой пик-фактор, так что от 96 дБ необходимо отнять примерно 15-20 дБ. Осталось менее 80 дБ. Кроме того, необходимо учесть, что в цифровых трактах качество сигналов сильно ухудшается при уменьшении его амплитуды. Сигнал с уровнем -60 дБ передается фактически всего лишь десятью, а то и шестью разрядами цифрового кода. При этом говорить о сколько-нибудь приличном звучании, естественно, уже не приходится. Таким образом, динамический диапазон компакт-диска реально составляет величину существенно меньшую, чем 96 дБ. Динамический же диапазон реальных сигналов может быть гораздо больше, например, для симфонического оркестра он может составлять до 120 дБ! И как его передать в ограниченном диапазоне тракта?

Вторая большая группа проблем - это мешающие сигналы. Шумы в паузе, пролезающие в микрофоны посторонние сигналы, фоны и шипения от гитарных эффектов и т.п. Во всех этих случаях возникает необходимость в автоматическом управлении уровнями сигналов, то есть в применении устройств динамической обработки сигналов.

Все устройства динамической обработки можно разделить на два больших класса: по характеру взаимосвязи их коэффициента усиления и уровня входного сигнала.

Если при **увеличении** уровня входного сигнала коэффициент передачи устройства **уменьшается** - то это компрессор и/или его разновидности, такие, как лимитер, левеллер, "дакер", и др.

Если же при **увеличении** входного сигнала коэффициент передачи устройства также **увеличивается** - то это экспандер или гейт.

Все устройства динамической обработки сигналов относятся к одному из двух этих классов.

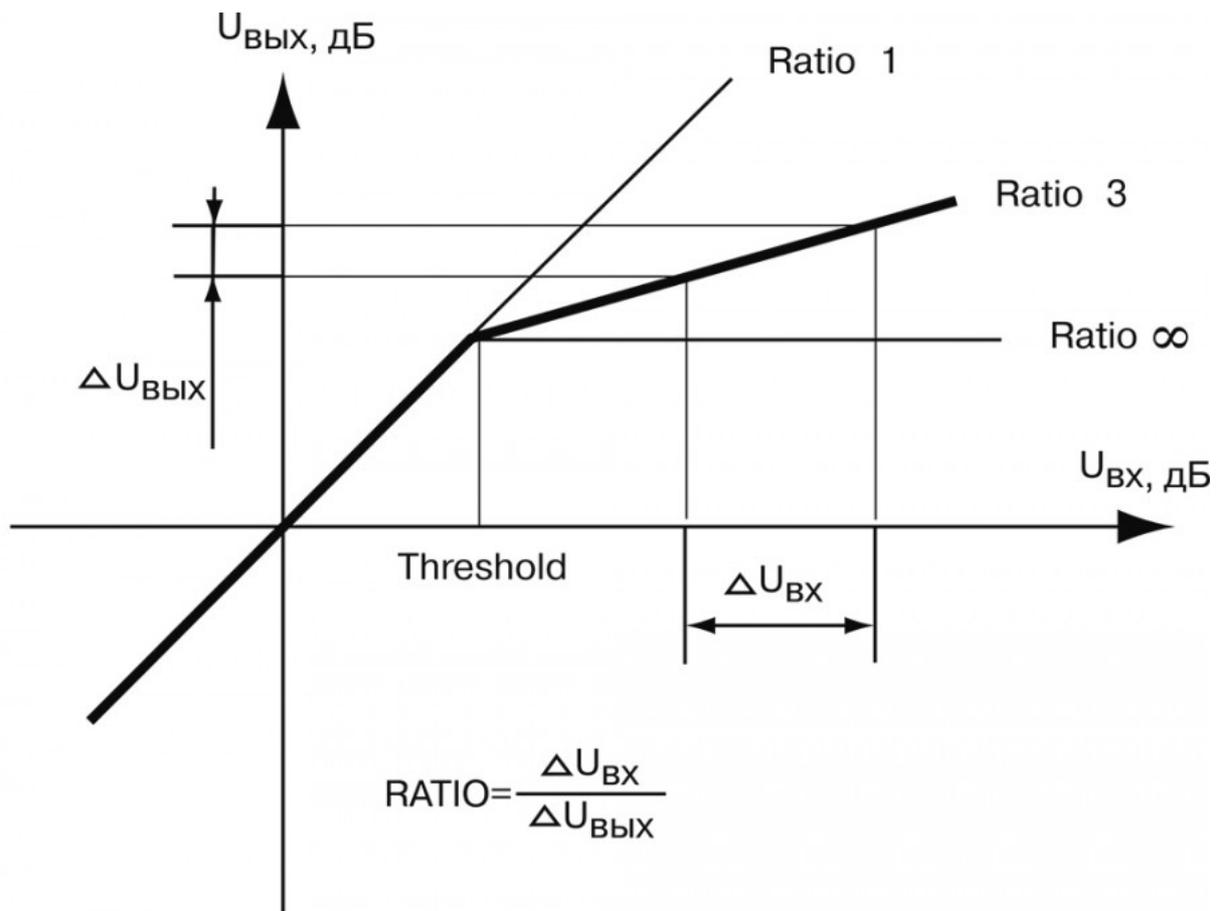
Существует, конечно, большое число приборов, носящих различного рода громкие "фирменные" названия, не несущие никакой явной смысловой нагрузки, либо, в лучшем случае, представляющие собой сложносоставные названия, из частей названий приборов. Например, "компеллор" - это "КОМПрессор + левЕЛЛЕР".

Компрессор и его производные

Это устройство для сжатия динамического диапазона исходного звукового сигнала.

Основными параметрами компрессии являются: степень компрессии (ratio), порог срабатывания (threshold), а также время срабатывания (attack) и время восстановления (release). Первые две величины отражены на графике компрессии (рис. 1).

Рис. 1



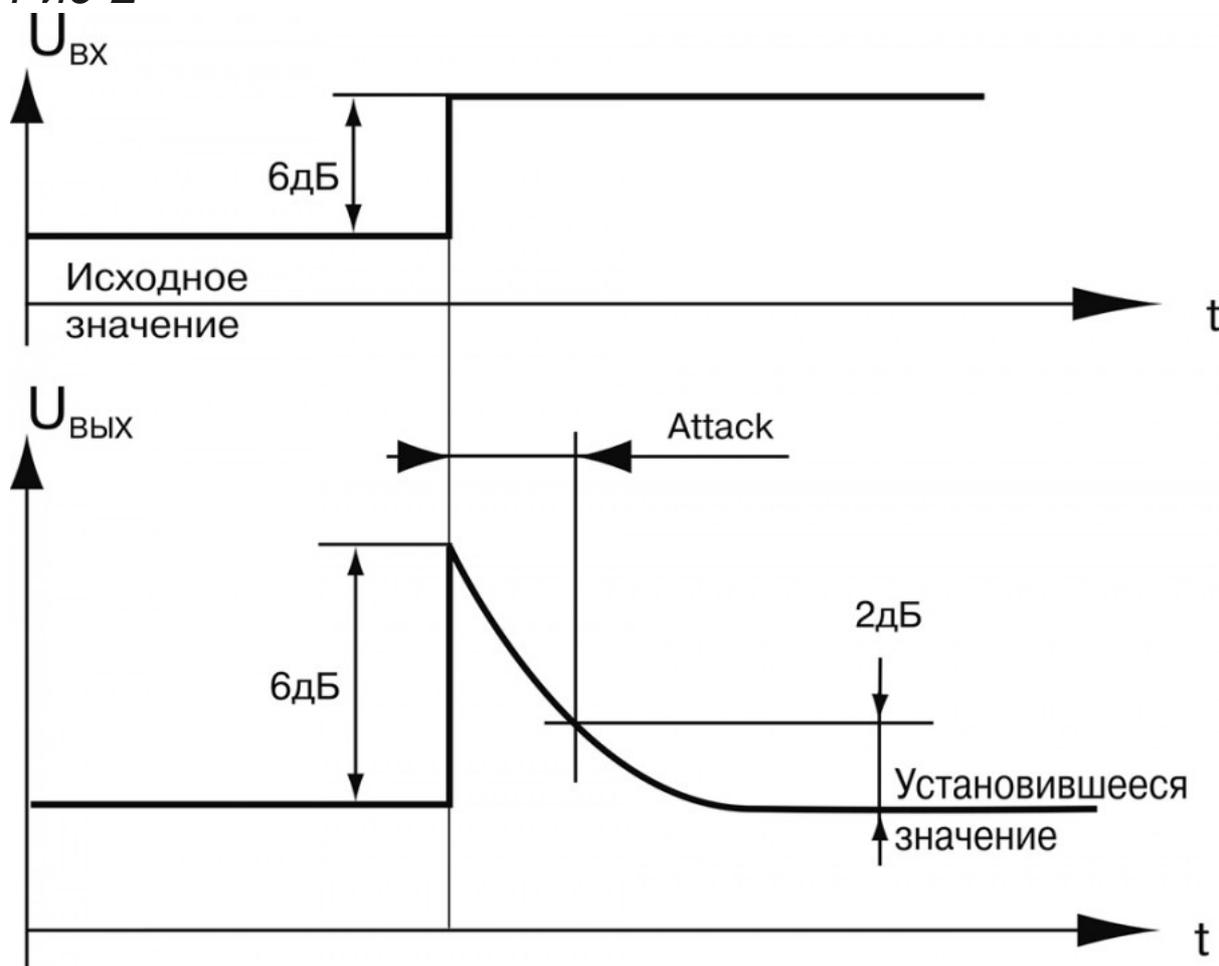
На этом рисунке по горизонтали показано входное напряжение компрессора, выраженное для удобства в децибелах, по вертикали - выходное, а толстая линия - это проходная характеристика компрессора. На графике видно, что выходной сигнал равен входному до точки срабатывания (начала работы) компрессора - threshold (порог срабатывания). Начиная с этой точки, выходной сигнал компрессора увеличивается в меньшей степени, чем входной, т.е. осуществляется компрессия. Мерой компрессии служит степень компрессии (ratio).

Степень компрессии - это отношение величины приращения входного сигнала к величине вызванного им приращения выходного сигнала. (При этом - измеряемые величины выражаются в децибелах!) $\text{ratio} = \Delta U_{\text{вх}} / \Delta U_{\text{вых}}$

Динамические характеристики компрессоров определяются временами срабатывания (attack) и восстановления (release).

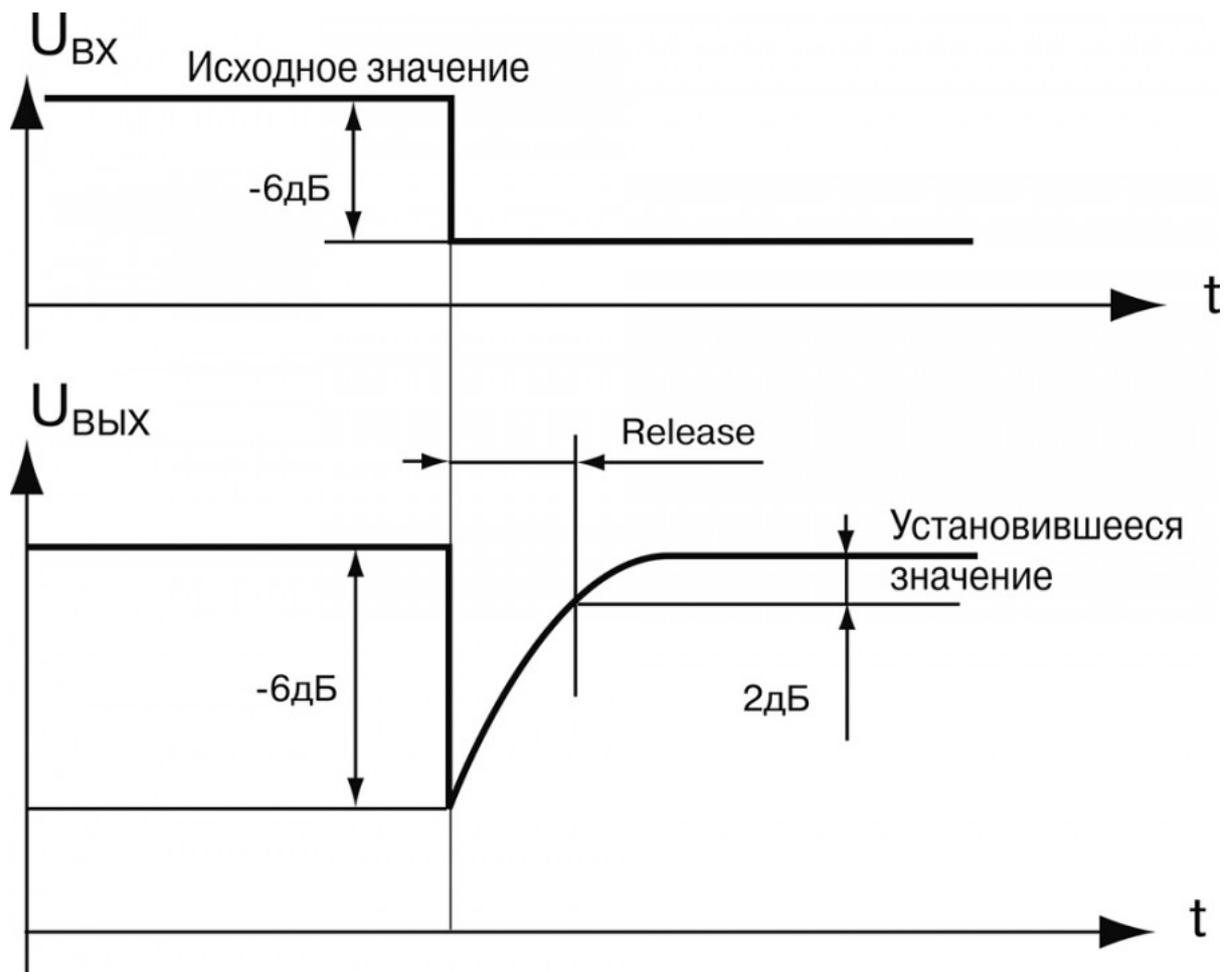
Время срабатывания (attack) - это промежуток времени между моментом, когда от источника подается скачок сигнала с уровнем на 6 дБ выше исходного, и моментом, когда выходной уровень достигает значения на 2 дБ выше установившегося значения выходного сигнала (рис. 2).

Рис 2



Время восстановления (release) - это промежуток между моментом, когда уровень сигнала источника уменьшается на 6 дБ от исходного, и моментом, когда выходной уровень достигает значения на 2 дБ ниже его установившегося значения (рис. 3).

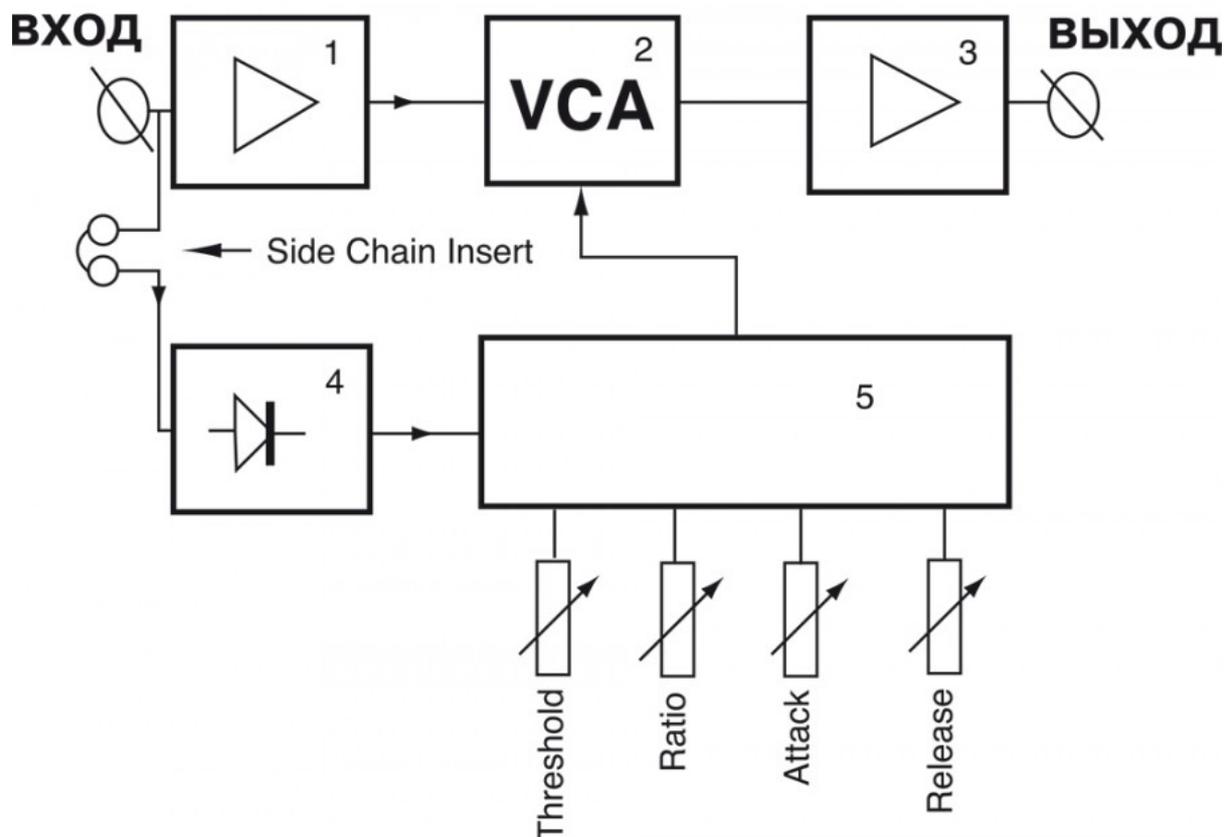
Рис.3



Естественно, что все это должно происходить в области уровней входного сигнала, лежащих выше порога срабатывания.

Любой компрессор, как, впрочем, и любое устройство динамической обработки вообще, содержит звуковой тракт и цепь управления (рис. 4). Последняя в англоязычной литературе носит название side chain.

Рис.4



В состав звукового тракта входят обычно: входной и выходной усилители (1 и 3, соответственно), и элемент, изменяющий коэффициент усиления звукового сигнала - управляемый усилитель VCA (2). Цепь управления состоит из выпрямителя (4) - для преобразования звукового сигнала в управляющее постоянное напряжение, и цепи управления компрессией 5. В последней и осуществляется установка динамических параметров компрессора, а также управление степенью компрессии и порогом срабатывания. В некоторых моделях компрессоров, а также гейтов и пр., предусматриваются гнезда side chain - для включения в цепь управления, перед выпрямителем, дополнительного эквалайзера. При включении какого-либо эквалайзера в разрыв цепи управления, компрессор как бы "обманывается", т.е. он "видит" не совсем тот сигнал, который

поступает на вход. Этим обеспечиваются более широкие функциональные возможности для обработки исходных сигналов: становится возможной частотно-зависимая динамическая обработка, например, де-эссер.

Строго говоря, применение компрессора с эквалайзером в side chain - это только имитация настоящего де-эссера. И может использоваться лишь на сольной вокальной партии, и то либо компрессор, либо де-эссер.

Эти гнезда по выполняемым функциям являются аналогом гнезд INSERT на микшерном пульте. С одной маленькой разницей - любые эквалайзеры, включенные в side chain, не изменяют тембр звука в основном канале! Они влияют только на параметры управления, и, соответственно, на характер осуществляемой динамической обработки.

Если отвлечься от конструктивных особенностей, то по характеру реакции на входной сигнал все компрессоры можно разделить на две большие группы: приборы с ручным управлением параметрами компрессии, и автоматизированные - с той или иной степенью автоматического управления этими параметрами.

В "ручных" все динамические параметры задаются пользователем, что обеспечивает очень большую свободу в выборе, для получения необходимых художественных результатов. Ведь не секрет, что компрессором можно изменить исходное звучание до полной неузнаваемости. "Ручной" компрессор как раз и служит именно для специального изменения характера исходного звучания. В

зарубежной литературе этот тип компрессоров часто называется creative - "творческий".

Пользователю для работы с ними необходима достаточно высокая квалификация, так как вместо улучшения звука его можно непоправимо испортить, что, к сожалению, часто и происходит... Перекомпрессированный сигнал исправить в дальнейшем невозможно!

В автоматизированных компрессорах динамические параметры раз и навсегда установлены изготовителем, и их изменение пользователем невозможно. Хотя некоторые известные производители, выпускающие действительно добротную продукцию, в ряде моделей предлагают на выбор несколько алгоритмов автоматизации для различных вариантов обработки.

Как правило, большинство автоматизированных компрессоров не изменяют динамические параметры звука сколько-нибудь существенным образом, а только выравнивают исходное звучание, делают его более плотным и насыщенным.

Автоматизированные компрессоры, в свою очередь, можно разделить также на два больших класса - RMS, и, условно говоря, "не-RMS".

"Не-RMS" - это компрессоры, имеющие обычный детектор (иногда называемый пиковым), и один или несколько наборов заводских предустановок (пресетов) различных сочетаний времен срабатывания attack и восстановления release. Как правило, один вариант предустановок компрессора предназначен для обработки какого-то одного рекомендованного производителем типа сигналов,

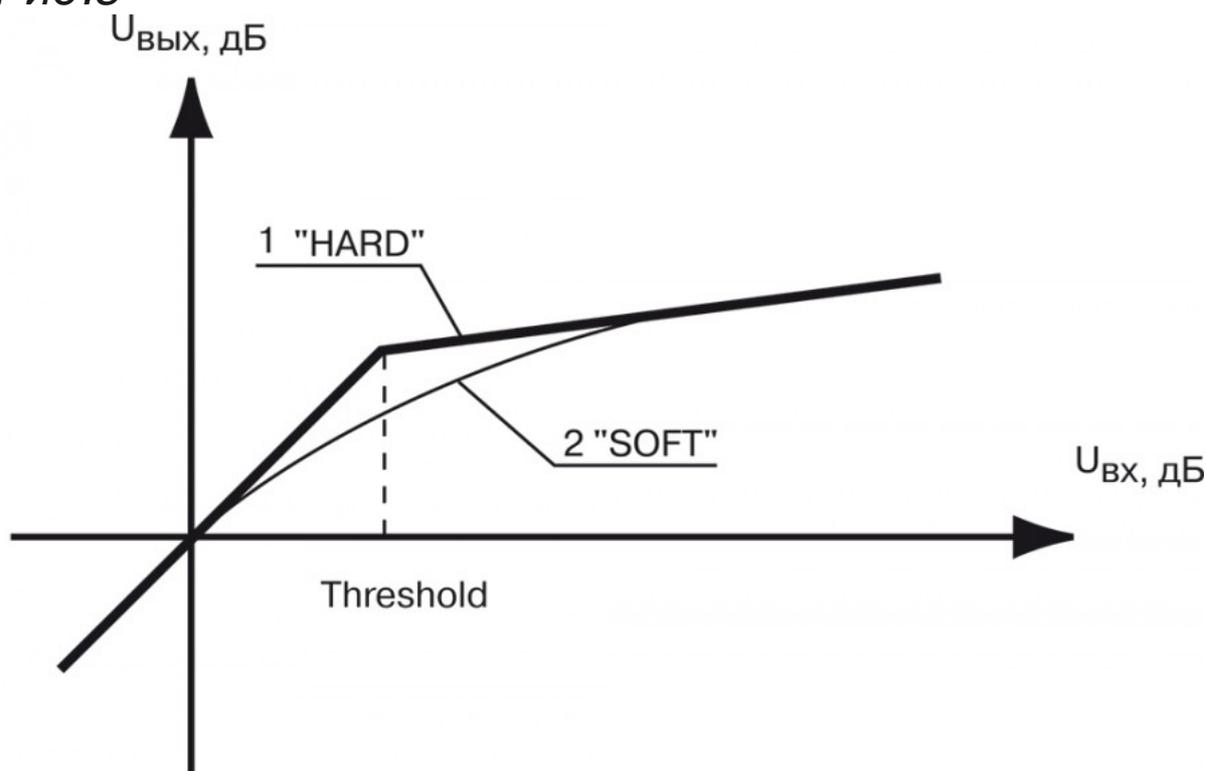
и только в этом случае работа такого компрессора будет действительно хорошей. Связано это с тем, что все сигналы имеют сильно различающиеся динамические параметры, причем эти параметры для различных звучаний могут отличаться в сотни и даже тысячи раз. Очевидно, что сочетание параметров, оптимальное для одного звучания, для другого, скорее всего, будет малоприспособлено. Хотя иногда и это может дать интересные неожиданные эффекты.

Несколько особняком стоит RMS-компрессор - до недавнего времени экзотический для большинства наших звукорежиссеров тип компрессоров, но их популярность растет как в звукозаписи, так и в "живой" концертной работе. RMS - Root Mean Square (среднеквадратическое значение). Ранее в электронике бытовало понятие "эффективное значение", и эти термины - синонимы. Этот тип компрессора должен реагировать на эффективное, действующее значение сигнала. RMS-компрессор реагирует непосредственно на мощность звукового сигнала, а не на его мгновенные значения, как обычный компрессор. Цепи управления компрессоров этого типа построены таким образом, что длительный сигнал небольшой амплитуды гораздо важнее для управления усилением компрессора, нежели короткий импульс большой амплитуды. Это, однако, вовсе не означает, что, взяв обычный компрессор и установив регуляторы *attack* и *release* на максимум, вы получите RMS-компрессор. Ничего подобного - все гораздо сложнее...

Применяемые для цепей управления специальные схемы обладают очень малой погрешностью детектирования сигналов с большим пик-фактором и, как правило, имеют специальные цепи адаптации динамических параметров детектора к входному сигналу с учетом его восприятия слухом. Иначе говоря, временные параметры в настоящем RMS-компрессоре не являются чем-то раз и навсегда заданным, а сложным образом изменяются в зависимости от частоты и уровня входного сигнала, его спектра. Это обеспечивает отсутствие "механистичности" в работе компрессора и очень малую заметность вмешательства компрессора в обрабатываемый сигнал. Все это дает очень высокую "музыкальность" работы RMS-компрессора, который при правильном применении практически не изменяет динамику исходного музыкального сигнала, а только его как бы "подравнивает", уплотняет. Звучание становится более ровным и мощным, без "шероховатостей". Применение RMS-компрессора не требует высокой квалификации, и доступно практически любому звукорежиссеру, от начинающих до опытных профессионалов. Даже при не слишком умелом использовании сильно испортить звук RMS-компрессором практически невозможно. В отдельных моделях компрессоров имеются и некоторые дополнительные устройства, улучшающие их функциональные возможности. Например, для уменьшения заметности момента включения многие компрессоры имеют так называемый "мягкий порог" (Soft Threshold),

обеспечивающий плавное вхождение в режим компрессии. На рис. 5 изображены проходные характеристики (зависимость уровня выходного сигнала от уровня входного) для двух компрессоров - обычного (ломаная линия 1) и компрессора с "мягким порогом" (кривая 2).

Рис.5



Как видно из рисунка, во втором случае по мере возрастания входного сигнала степень компрессии увеличивается плавно, а не включается скачкообразно, как в обычном компрессоре. Таким образом удастся сильно ослабить заметность начала компрессии, сделать этот момент практически неслышным. В особо престижных моделях можно даже регулировать степень крутизны излома проходной характеристики, делать его более или менее "мягким". Общеизвестно свойство компрессии, особенно быстрой (при малых временах срабатывания и

восстановления), как бы "съесть" высокие частоты в обрабатываемом сигнале. Для устранения этого явления в некоторых компрессорах применяются различного рода специальные устройства (ВЧ-экспандеры), позволяющие в ряде случаев нейтрализовать этот нежелательный эффект. Обычно в таких устройствах сигнал разделяется на две полосы, и, в то время как основной сигнал компрессируется, его высокочастотная составляющая передается на выход либо неизменной, либо наоборот, усиленной, пропорционально ослаблению уровня основного сигнала. В выходном усилителе обе эти составляющие суммируются, и эффект "съедания высоких частот" таким образом, существенно ослабляется. К сожалению, большинство подобных устройств хорошо себя проявляют лишь при использовании их в качестве "спецэффектов", а их применение в целях, заявленных изготовителями, малоэффективно.

Кроме описанных выше, существуют, конечно, и некоторые другие разновидности компрессоров. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Лимитер

В принципе, это не какой-то отдельный вид компрессоров, а всего лишь один из частных случаев режима работы компрессора.

Лимитирование отличается от компрессирования, прежде всего степенью компрессии ratio. Для лимитирования достаточно перевести этот регулятор в положение ratio = бесконечность : 1, при этом независимо от приращения входного

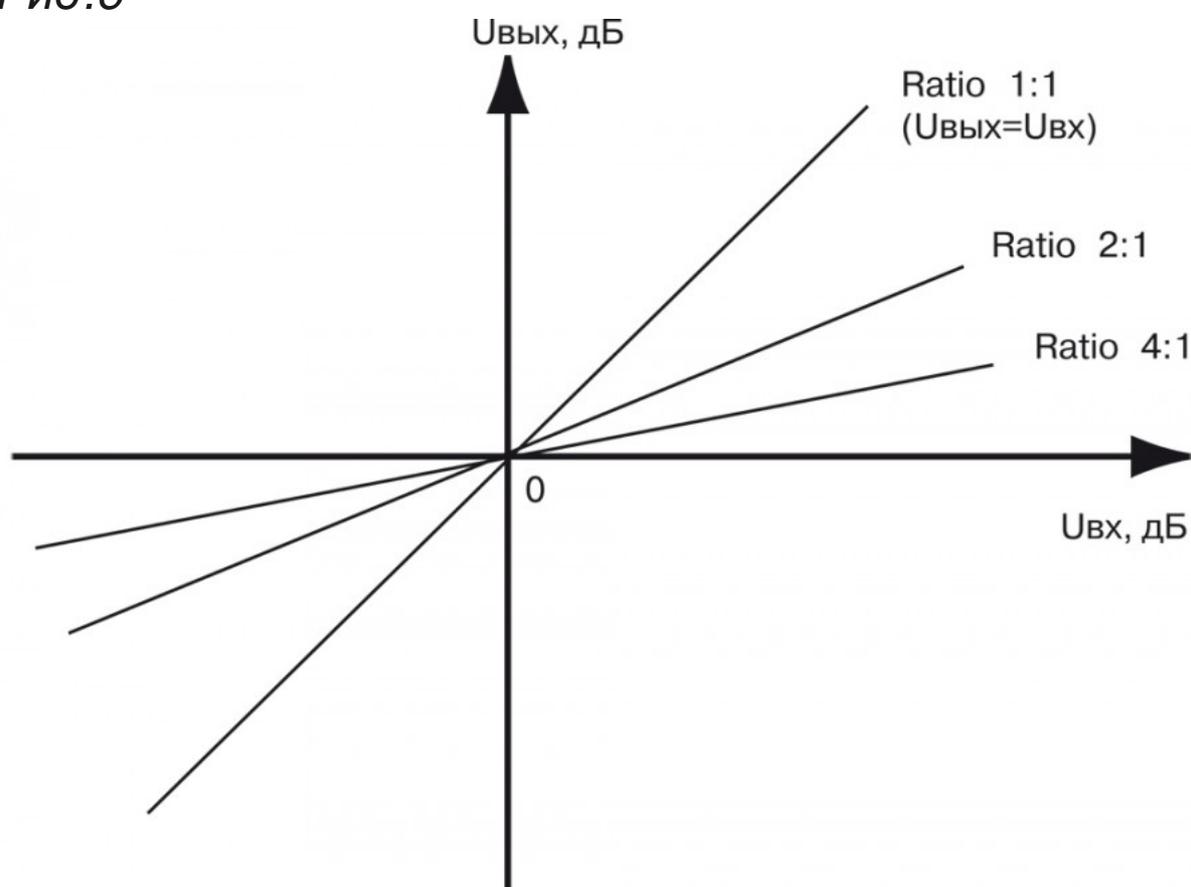
сигнала уровень сигнала на его выходе увеличиваться не будет. (Естественно, что речь идет о сигналах, лежащих выше порога срабатывания!) Но здесь есть одна тонкость. Дело в том, что основное предназначение лимитера - защита последующих узлов тракта от перегрузок. Любых, даже самых малых. При этом он должен на 100% не допускать превышения установленного выходного уровня, но абсолютно не трогать сигналы, лежащие ниже порога срабатывания. Отсюда следует вывод, что компрессоры с "мягким коленом" принципиально непригодны для этих целей. Для них само понятие "порога" имеет весьма расплывчатый смысл, ведь для "незаметности" работы протяженность "мягкого" участка характеристики у них весьма велика, и у некоторых моделей достигает 40дБ! От начала вмешательства такого компрессора в сигнал, и до момента, когда он достигнет режима лимитирования, уровень входного сигнала должен возрасти на эту величину! И все это время никакого лимитирования еще не происходит, но сигнал уже "жует"ся... Почему? Об этом - ниже.

Широко применяемые компрессоры, имеющие ту или иную автоматизацию динамики своей работы, также практически непригодны для использования в качестве лимитера. Причина кроется в том, что, как уже говорилось, их динамика оптимизирована под конкретный вид сигнала, под его компрессию, а не что-либо иное. А лимитер, помимо большего ratio, имеет и принципиально иные динамические характеристики. Он должен очень быстро (в идеале

- мгновенно!) "съесть" сигнал перегрузки, и столь же быстро вернуться к исходному состоянию. В автоматизированном компрессоре добиться этого попросту невозможно. В хорошем же лимитере можно установить время срабатывания вплоть до 5 микросекунд, чего в компрессорах просто не бывает. Время восстановления в реальном защитном лимитере также весьма мало: несколько десятков миллисекунд. Очевидно, что компрессия с такими параметрами способна, и очень значительно, изуродовать сигнал. Вот и причина того, что если в компрессоре с "мягким" порогом выставить динамические параметры, пригодные для лимитирования, сигнал будет просто изуродован - не та динамика...

Левеллер

Рис.6



Это - еще одна разновидность RMS-компрессора. Основное его отличие от обычного RMS - это гораздо большие постоянные времени детектора: до 10 секунд в некоторых моделях. Кроме того, они имеют несколько другую проходную характеристику (рис. 6).

На этом рисунке изображено семейство проходных характеристик левеллера при различных значениях ratio. Независимо от ratio сигнал с входным уровнем 0 дБ на выходе имеет такой же уровень, а сигналы с иными уровнями как бы подтягиваются к нему: более сильные ослабляются, более слабые - усиливаются. Причем, чем большее ratio установлено, тем сильнее сигналы "прижимаются" к уровню 0 дБ (уровень 0 дБ здесь приведен только для примера). В реальных устройствах имеется регулятор уровня, к которому должны "подтягиваться" сигналы.

Де-эссер, де-поппер

Это варианты частотно-зависимого компрессора, а точнее - полосового компрессора. Почему полосового? Настоящий де-эссер (и, естественно, де-поппер) должен обрабатывать только узкую полосу мешающего сигнала, не затрагивая всего остального. Обычный компрессор в режиме де-эссера, с фильтром-эквалайзером в цепи управления, обрабатывает всю полосу частот входного сигнала. Он просто более "чуток" к выделенной области спектра. Отличие де-эссера и де-поппера в том, что де-эссер работает на высокочастотных сигналах, убирая "цыканье" и шепелявость. Де-поппер - наоборот, работает в

низкочастотной области спектра, убирая "пыханье" и бубнение. В остальном они принципиальных отличий не имеют. Главное отличие этих приборов от остальных устройств динамической обработки заключается в том, что порог срабатывания в них не фиксированный (ручкой управления threshold), а "плавающий". То есть он определяется разностью уровней обрабатываемой части спектра, с одной стороны, и всего остального - с другой стороны. Такое построение обеспечивает нормальное их функционирование, независимо от абсолютных уровней входных сигналов. Де-эссер постоянно анализирует спектр входного сигнала, и, если "видит", что уровень сигнала в установленной полосе превышает допустимое соотношение его и "всего остального", то он уменьшает уровень сигналов в этой полосе до допустимой (установленной пользователем) величины.

Компрессор/лимитер

Многие считают, что, купив прибор с таким названием, они приобрели и компрессор, и лимитер. Ничего подобного! Это - не компрессор плюс лимитер. Это обычный компрессор, который можно перевести в режим лимитера, и ничего более, т.е. либо он работает как компрессор, либо как лимитер. Если же требуется и то, и другое, то при покупке надо убедиться, что имеется хотя бы один отдельный регулятор для установки параметров лимитирования. Чаще всего это регулятор порога срабатывания лимитера limit.

Кроме описанных выше, существуют и другие виды компрессоров: многополосные компрессоры, AGC-контроллеры, АРУЗ и т.п.

Экспандер и гейт

Экспандер - это "компрессор наоборот". У него, как уже отмечалось, коэффициент передачи пропорционален уровню входного сигнала, т.е. чем громче входной сигнал, тем громче выходной.

Существуют две основных разновидности экспандера - "экспандер вверх" (upward expander) и "экспандер вниз" (downward expander). Отличаются они по характеру реагирования на входной сигнал.

Upward expander

"Экспандер вверх" обрабатывает только сигналы, лежащие выше порога его срабатывания, делая громкие еще более громкими. Тихие же сигналы, ниже порога срабатывания, он не трогает. В звукорежиссерской практике почти не используется, в качестве примера можно привести лишь гитарный "бустер". Естественно, возникает вопрос - почему этот тип экспандера не применяется, хотя про него часто говорят: "Хороший прибор, позволяет восстановить исходную динамику чрезмерно сильно зажато компрессорами сигнала"? Причины две. Во-первых, пережатый до "квадратного" состояния сигнал не восстановить ничем! А во-вторых, как и компрессор, экспандер имеет время открывания Attack, и время закрывания Release.

Здесь и кроется причина всех проблем.

Предположим, необходимо обработать суммарную фонограмму с записью самых разных инструментов.

Чтобы обработанный "экспандером вверх" сигнал барабана не потерял свою исходную атаку, нужно установить очень быстрое открывание экспандера. Но при этом сигналы инструментов с медленными атаками (орган, струнные) приобретут, благодаря действию экспандера, чрезмерно резкие атаки, проще говоря - начнут "щелкать" в момент открывания экспандера. Эти щелчки крайне неприятны для слуха, не маскируются сигналом и практически полностью исключают возможность применения "экспандера вверх" в звукотехнике на реальном **суммарном** звуковом сигнале.

Downward expander

"Экспандер вниз", напротив, не трогает сигналы выше порога срабатывания, а только делает тише сигналы, лежащие ниже этого порога. По характеру своего действия на сигнал это устройство схоже с гейтом, и, как правило, применяется для аналогичных целей - для подавления слабых, но мешающих сигналов. В этом качестве "экспандер вниз" входит составной частью практически во все шумоподавители (денойзеры).

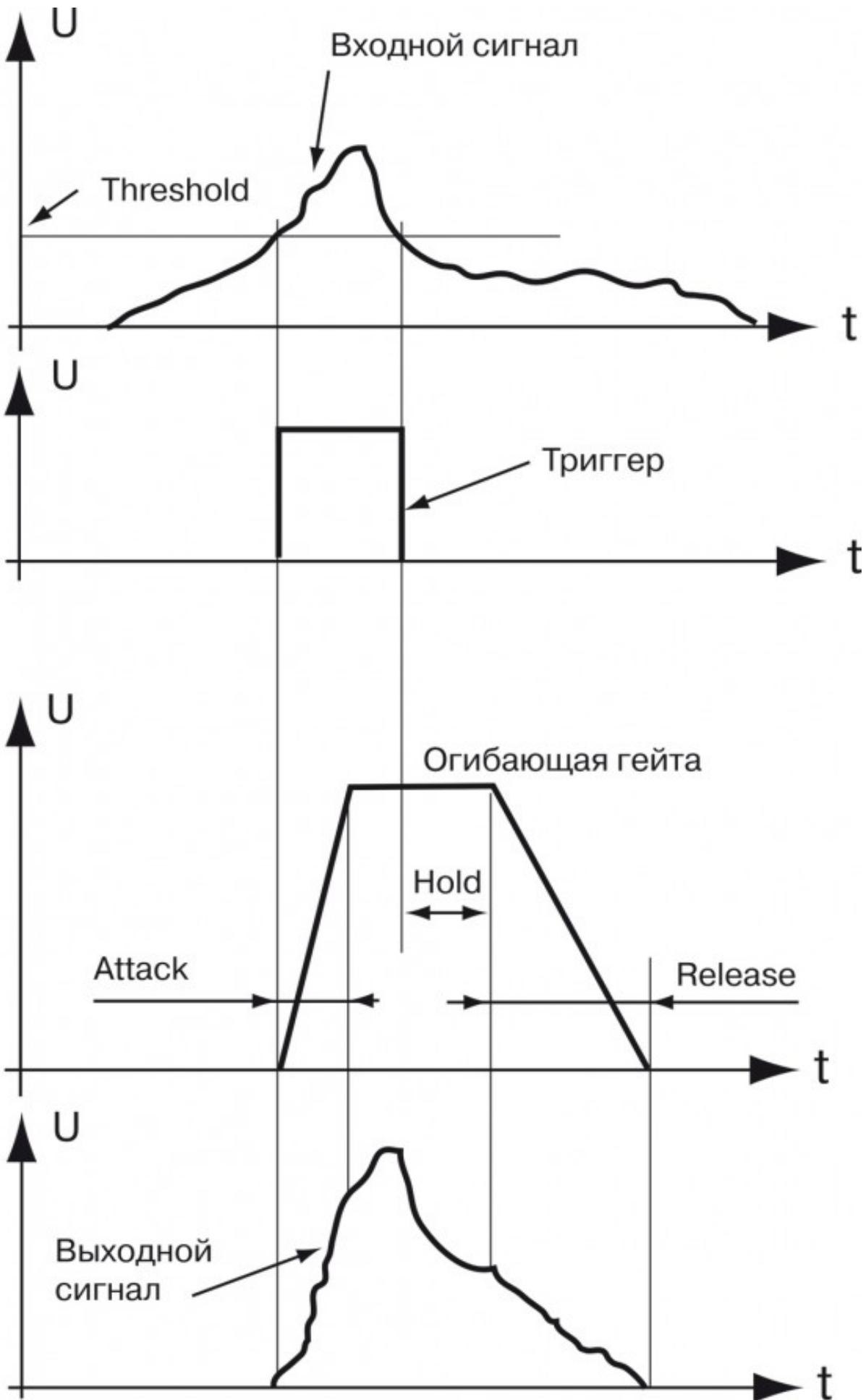
Органы управления у экспандеров аналогичны компрессору. Кроме уже рассмотренных, это регулятор порога срабатывания *threshold*, и регулятор степени расширения (экспандирования) *ratio*. Этот регулятор имеет маркировку, обратную компрессорной, он показывает, на сколько децибел изменится выходной сигнал при изменении входного сигнала на 1 дБ. Т.е. если в компрессоре *ratio* = 5:1 означает, что при изменении уровня входного сигнала на 5 дБ выходной сигнал

изменится на 1 дБ, то в экспандере $\text{ratio} = 1:5$ показывает: при изменении входного сигнала на 1 дБ уровень выходного сигнала изменится на 5 дБ.

Гейт

Гейт (от английского *gate* - клапан, ворота) - один из самых распространенных приборов динамической обработки. Основное, изначальное назначение гейта - отсечка сигналов малого уровня, для которых он и является своеобразным клапаном, не пропуская их на выход. Отчасти гейт похож на экспандер, но только отчасти. Если в "экспандере вниз" установить $\text{ratio} = 1 :$ бесконечность, то он будет функционировать как гейт. Но не наоборот! Ведь экспандер при всех положениях ratio , кроме вышеприведенного, как бы следит за сигналом, т.е. он не имеет устойчивого состояния, его коэффициент передачи все время изменяется (больше сигнал - больше усиление, меньше сигнал - меньше усиление.) Гейт же имеет только два устойчивых состояния - открытое и закрытое. А в моменты *attack* и *release* он просто переходит из одного состояния в другое. По своей работе гейт аналогичен формирователю огибающей в синтезаторах. Это такой же многоступенчатый формирователь огибающей плюс управляемый усилитель (VCA), только запускается он не от нажатия клавиши, а при превышении входным сигналом порога срабатывания гейта *threshold*.

Рис.7



Большинство гейтов имеют относительно несложный 3-ступенчатый формирователь огибающей, состоящий из трех частей - нарастания attack, удержания hold, и плавного затухания release (Рис. 7).

Эти фазы звука хорошо знакомы всем, имевшим дело с синтезаторами. На рисунке изображены три сигнала - входной (верхняя сигналограмма), сформированная генератором гейта огибающая (в середине) и результирующий выходной сигнал - внизу.

В момент превышения входным сигналом порога срабатывания threshold (вверху) запускается специальный триггер, который, в свою очередь, запускает формирователь огибающей гейта, и тот начинает последовательно вырабатывать три составных части управляющего напряжения для VCA (в середине). В первый момент после запуска формируется attack, затем сохраняется достигнутое состояние - до момента, когда входной сигнал станет меньше порога срабатывания. После того, как входной сигнал станет меньше threshold, триггер (trigger) изменяет свое состояние, и начинают формироваться следующие две части огибающей. Под действием этого напряжения VCA изменяет свой коэффициент усиления и получается результирующий (обработанный гейтом) выходной сигнал (внизу).

Естественно, что динамика обработанного гейтом сигнала будет отличаться от исходной. Сигналы, лежащие ниже порога срабатывания, будут полностью подавлены. Сигналы же выше порога

атаки будут зависеть от соотношения их исходной скорости и времени открывания гейта, т.е. результирующая может быть как более резкая, так и более плавная. Аналогично - и с процессом затухания сигнала release. С той только разницей, что затухание исходного сигнала гейтом не удлинить. Можно только укоротить... Именно это свойство гейта - менять динамику сигналов - и является той причиной, по которой гейт получил столь широкое распространение.

Наверное, ни для кого не будет открытием тот факт, что в настоящее время основным применением гейта является запись ударных инструментов - барабанов, тарелок и пр. При обработке гейтом именно этих сигналов все потенциальные возможности раскрываются наиболее полно. Можно отрезать излишне длинные тянущиеся "хвосты" у барабанов, сделать более резкими атаки, а при определенном навыке - даже "растянуть" время звучания атаки. Вплоть до того, что вместо одного удара - будут слышаться... два! Только для этого гейт должен быть настоящим, полнофункциональным, а не одной ручкой в компрессоре...

Ранее привычный теперь гейт носил более претенциозное название - noise gate (нойз-гейт), при этом подразумевалось, что главным его предназначением будет шумоподавление. Но довольно быстро выяснилось, что "шумодав" из гейта, в общем-то, "никакой". Конечно, шумы паузы он убирает прекрасно. Только это практически никому не нужно. Лучше оставить "кесарю -

кесарево", т.е. для борьбы с шумами использовать специально для этих целей созданные устройства - денойзеры. У них это лучше получится...

Кроме вышеуказанных, в некоторых "наворочанных" гейтах имеются и другие регулировки - например, предзадержки delay, гистерезиса, фильтрации, и т.д. Рассмотрим подробнее некоторые из них, в порядке убывания распространенности.

Обязательной составной частью любого мало-мальски приличного гейта являются перестраиваемые обрезные НЧ- и ВЧ-фильтры key filter, в самом крайнем случае - разрывные гнезда side chain insert, как в компрессоре. В некоторых моделях можно встретить и гнезда для подачи внешних запускающих сигналов - ext. Key.

Назначение этих фильтров и гнезд такое же, как и в компрессоре - изменение характеристик канала управления. И точно так же - они не влияют на тембр самого сигнала! Но если в компрессорах применение фильтров и эквалайзеров в side chain в значительной степени "экзотика", и можно прекрасно обходиться и без них, то в гейтах без хороших фильтров - нельзя. Причем, если в side chain компрессора ставится обычно эквалайзер, то в гейтах ставятся именно обрезные фильтры, как правило - перестраиваемые, и причем - отдельные для НЧ и для ВЧ.

Необходимость в них вызвана, главным образом, спецификой применения большинства гейтов - запись ударных. Инструменты этой группы расположены весьма близко друг к другу, обладают высокой громкостью, поэтому отделить их друг от

друга - задача не из простых. Именно для этого гейт и применяется - если отвлечься от задачи художественного изменения исходных звучаний. Например, два близко расположенных микрофона снимают звучание, один - барабана, другой - тарелки. По громкости их не различить, да и в разных местах композиции она может существенно различаться. Что остается? Спектр. Настраиваем фильтры в каналах управления гейтов этих двух микрофонов таким образом, чтобы гейт барабана воспринимал только его основной тон, в области средних частот, а гейт тарелки - только ее ВЧ-составляющие. Проконтролировать точность настройки фильтров поможет имеющийся в обязательном порядке в таких (с фильтрами) моделях переключатель key listen (прослушивание управляющего сигнала). Теперь, независимо от громкости звучания того или иного инструмента, его гейт будет управляться только его сигналом, а остальные для него как бы "невидимы".

Рассмотрим теперь работу всего цикла гейта. Что касается начальной части сигнала - атаки-то здесь, как правило, особых проблем не возникает. Входной сигнал нарастает быстро, с хорошим уровнем, и гейт срабатывает четко. Совсем другая картина - на спаде сигнала. Не секрет (хотя и не общеизвестно), что затухание сигналов большинства инструментов не является ровным и плавным, а имеет волнообразный характер. Для слуха это малозаметно и привычно, но для электроники - совсем другое дело. Гейт в этот момент начинает периодически переключаться из

открытого состояния в закрытое, "дергаться". На слух этот эффект воспринимается очень неприятно. Частично справиться с этой проблемой помогает регулятор времени удержания hold, но только частично. Он лишь задерживает момент начала закрывания гейта, но не избавляет его полностью от "болтанки". Для этого применяется особое устройство - триггер с гистерезисом. Это означает, что в таком гейте имеются два порога срабатывания - один на открывание, и один - на закрывание, причем "порог на закрывание" - всегда меньше, чем на открывание.

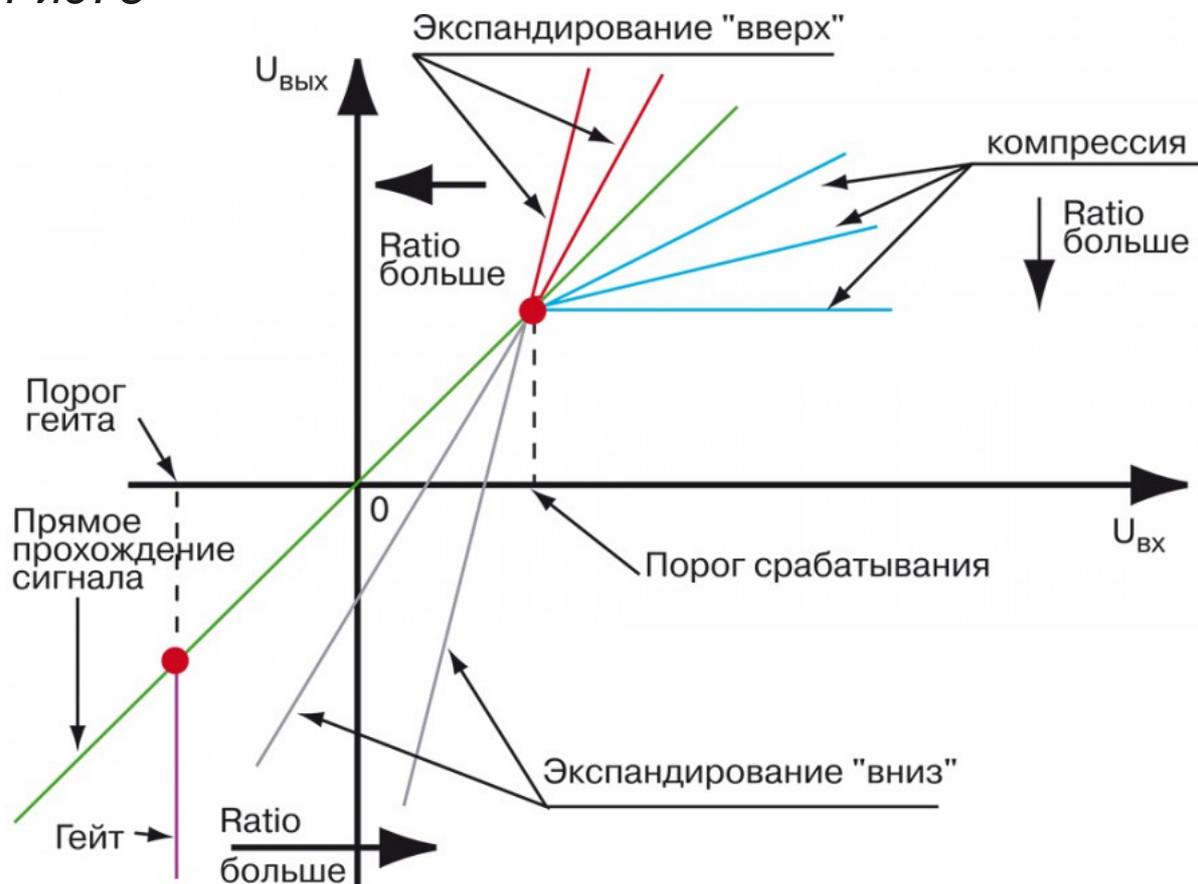
Например, если установлен гистерезис в 7 дБ, а порог срабатывания равен +12 дБ, то гейт начнет закрываться только в том случае, если входной сигнал станет меньше +5 дБ, а не +12 дБ, как в обычном гейте. Это позволяет обеспечить надежное, без "болтанки", закрывание гейта - и к тому же без задержки hold, необходимость в которой при этом отпадает. Справедливости ради заметим, что в некоторых моделях гейтов среднего ценового класса эта функция уже является встроенной. Однако величина этого гистерезиса устанавливается изготовителем, и его изменение пользователю недоступно.

В некоторых гейтах имеется режим со странным названием - ducker, или просто duck. История появления этого термина в точности не известна, а означает он инверсный режим работы гейта, т.е. при превышении входным (или управляющим) сигналом порога срабатывания гейт не открывается, а... закрывается! Этот режим может

применяться как спецэффект, но основное его предназначение в другом - для уменьшения уровня одного сигнала другим, который в данном случае играет роль управляющего.

Для этого управляющий сигнал (например, голос) подается не на звуковой вход гейта, а на его управляющий вход ext. key. На звуковой же вход подается тот сигнал, уровнем которого надо управлять (например, фоновая музыка). При появлении на управляющем входе сигнала от голоса - гейт срабатывает "наоборот", и громкость фоновой музыки уменьшается. Такое использование гейта часто встречается в системах Public Address и в телерадиовещании.

Рис. 8



Для облегчения понимания сходства и различия функционирования всех устройств динамической

обработки на рис. 8 на одном графике в совмещенном виде показаны проходные динамические характеристики всех рассмотренных в этой статье широкополосных приборов.

Максимайзеры

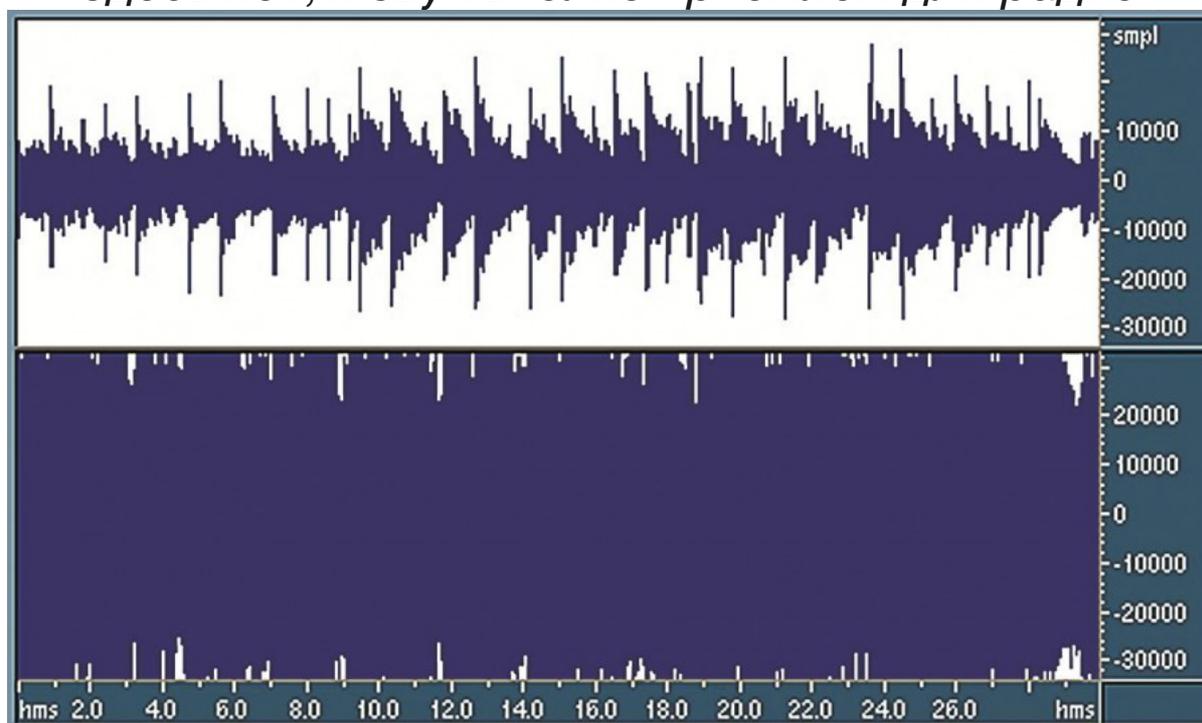
Громкость и уровни

Громкость звука зависит не только от его уровня, но и от его спектрально-временного состава. Если частотный баланс фонограммы уже определен и менять его нежелательно, то для увеличения ее громкости нужно повысить уровень.

Зачем повышать громкость? На это есть две причины. Первая из них заключается в том, что громкая музыка чаще всего «эффектнее», чем тихая, и больше привлекает внимание. Поэтому большинство продюсеров всеми силами стремятся повысить уровень фонограммы при мастеринге: ведь от этого может зависеть ее коммерческий успех. Вторая причина повышения громкости — желание наиболее полно использовать динамический диапазон современной цифровой техники. Также важно максимально использовать динамический диапазон воспроизводящего устройства, чтобы запись не тонула в шумах. При записи звука носители обычно ограничивают величиной перегрузки пиковый уровень мощности фонограммы, а не ее среднеквадратичную мощность (это несколько упрощенная, но близкая к реальности модель для большинства аналоговых и цифровых носителей звука). Отношение пиковой

мощности фонограммы к ее среднеквадратичной мощности (RMS) называется кросс-фактором (crest-factor). Прямоугольная волна имеет единичный кросс-фактор 0 дБ. Кросс-фактор синусоиды равен 3 дБ. Фонограммы с широкой динамикой или резкими пиками обладают высоким кросс-фактором (20 дБ и более), а сильно компрессированные фонограммы — низким (10...15 дБ). Ясно, что при ограниченной пиковой мощности фонограмма с меньшим кросс-фактором может достичь более высокой громкости. С целью уменьшения кросс-фактора фонограммы ее пропускают через устройства динамической обработки (рисунок 1).

Рис. 1. Фонограмма до динамической обработки и после. Уменьшение кросс-фактора. Клиппинга здесь нет, и звук вполне приемлем для радио



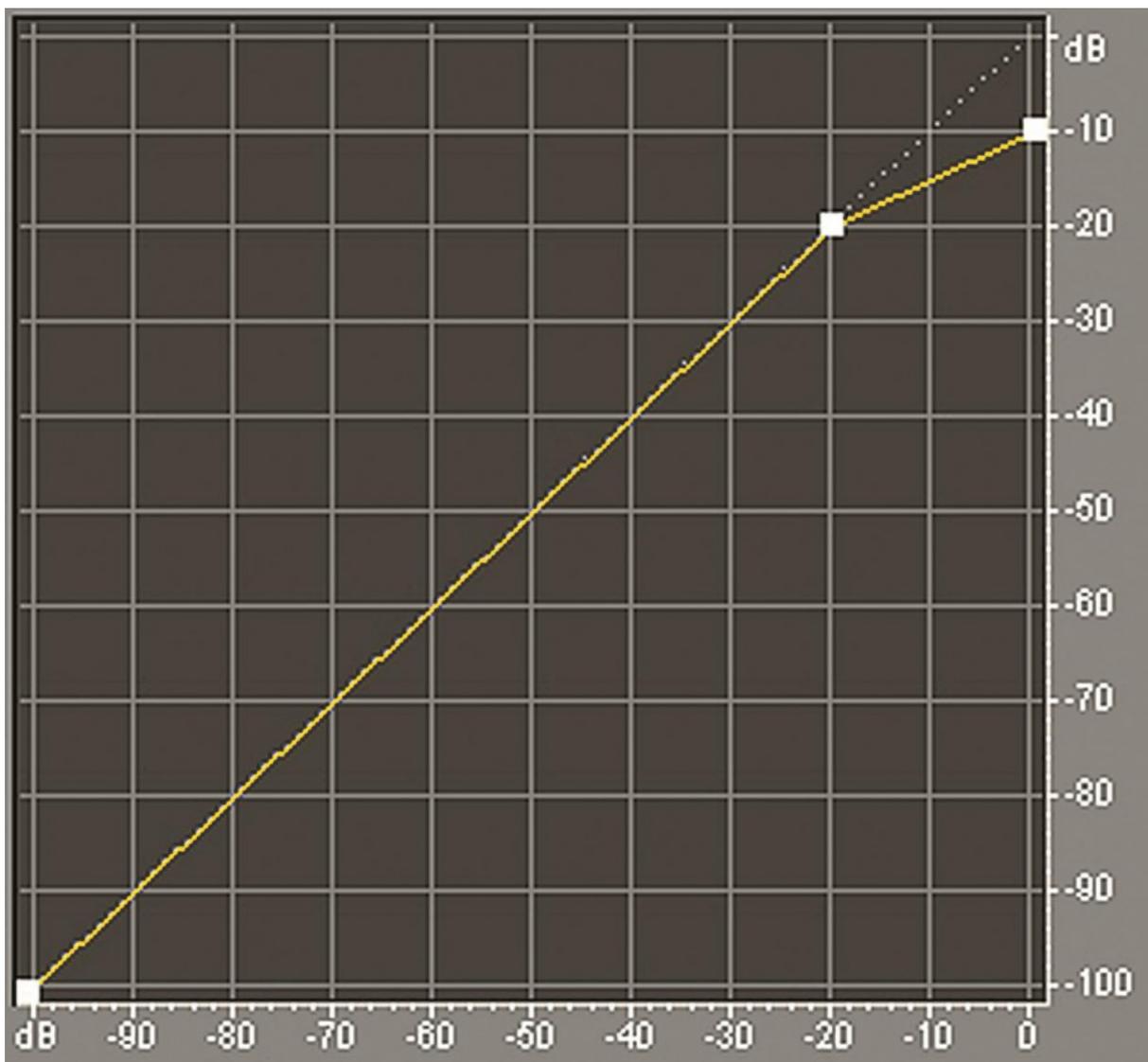
Сначала рассмотрим принципы работы динамических процессоров.

Устройства динамической обработки

Основными устройствами для работы с уровнями фонограммы являются устройства динамической обработки. Принцип действия этих устройств заключается в анализе уровня входящего в них аудиосигнала и изменении этого уровня по некоторому закону. Основными параметрами устройств динамической обработки являются передаточная характеристика и время атаки/восстановления.

Передаточная характеристика (не путать с амплитудно-частотной характеристикой) — это зависимость требуемого выходного уровня звука от входного уровня. В соответствии с передаточной характеристикой устройство динамической обработки определяет тот коэффициент усиления, который нужно применить к входному сигналу в каждый момент времени. Пример передаточной характеристики показан на рисунке 2. Такое устройство динамической обработки называется компрессором; оно пропускает без изменения звуки с амплитудой до -20 дБ и уменьшает амплитуду всех звуков выше -20 дБ. Таким образом, компрессор делает громкие звуки тише, сужая динамический диапазон фонограммы.

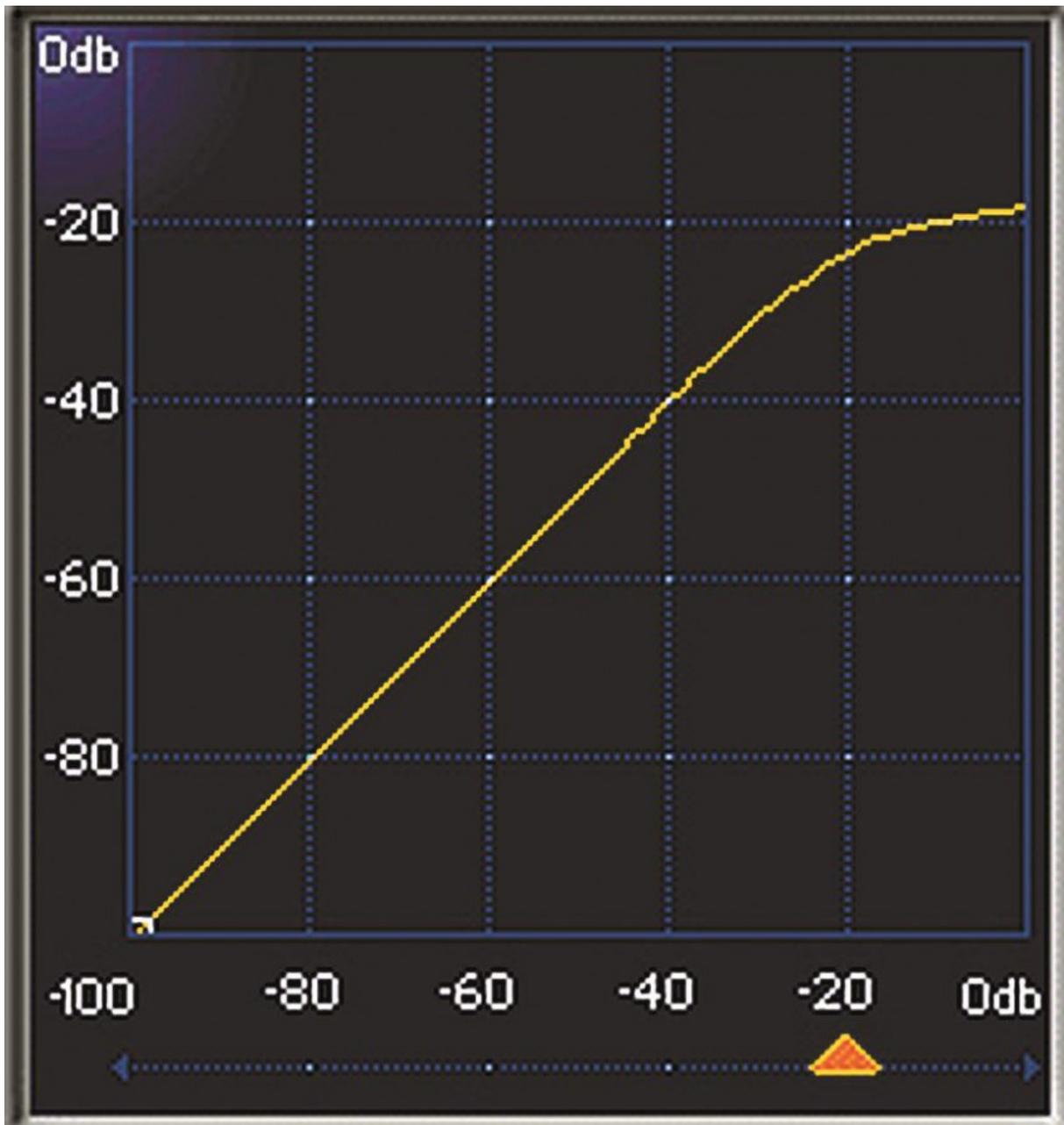
Рис. 2. Передаточная характеристика компрессора. Порог равен -20 дБ, степень компрессии 2:1



Перелом в передаточной характеристике называется коленом (knee). Входной уровень, соответствующий колену, называется порогом (threshold). Угол наклона передаточной характеристики выше порога определяет степень компрессии (ratio). Степень компрессии 2:1 означает, что при увеличении входного уровня на 2 дБ выше порога выходной уровень вырастет лишь на 1 дБ. Если степень компрессии равна единице, то уровень звука при прохождении через прибор не изменится. Если она стремится к бесконечности, то устройство будет ограничивать амплитуду выходного звука значением порога.

Такие устройства называются лимитерами, поскольку они ограничивают динамический диапазон. Если же степень компрессии меньше единицы, например 1:1,5, то это значит, что когда входной уровень превышает порог, устройство будет повышать выходной уровень по сравнению с входным. Такие устройства называются экспандерами, и они расширяют динамический диапазон. Существуют и другие типы устройств динамической обработки: гейты, дакеры, левелеры и пр., со своими специфическими передаточными характеристиками и параметрами работы.

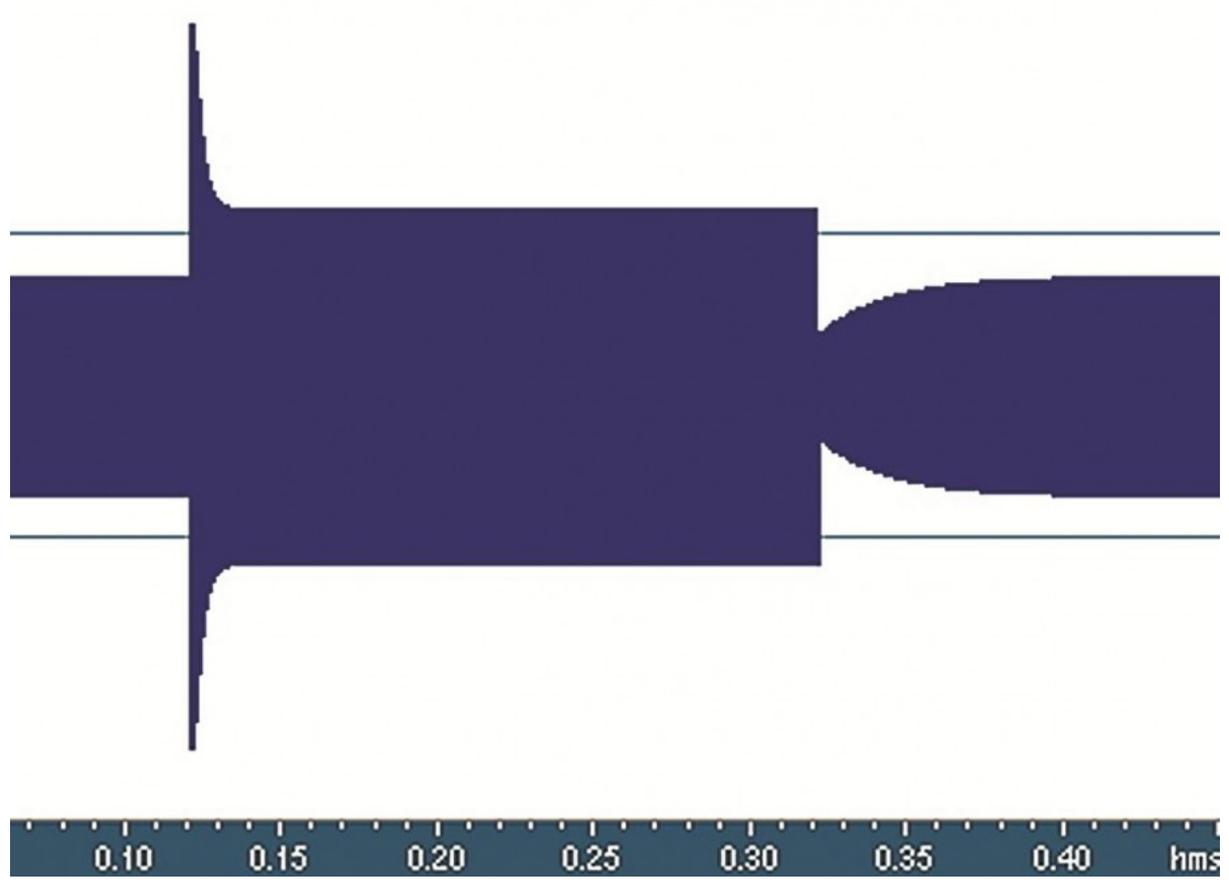
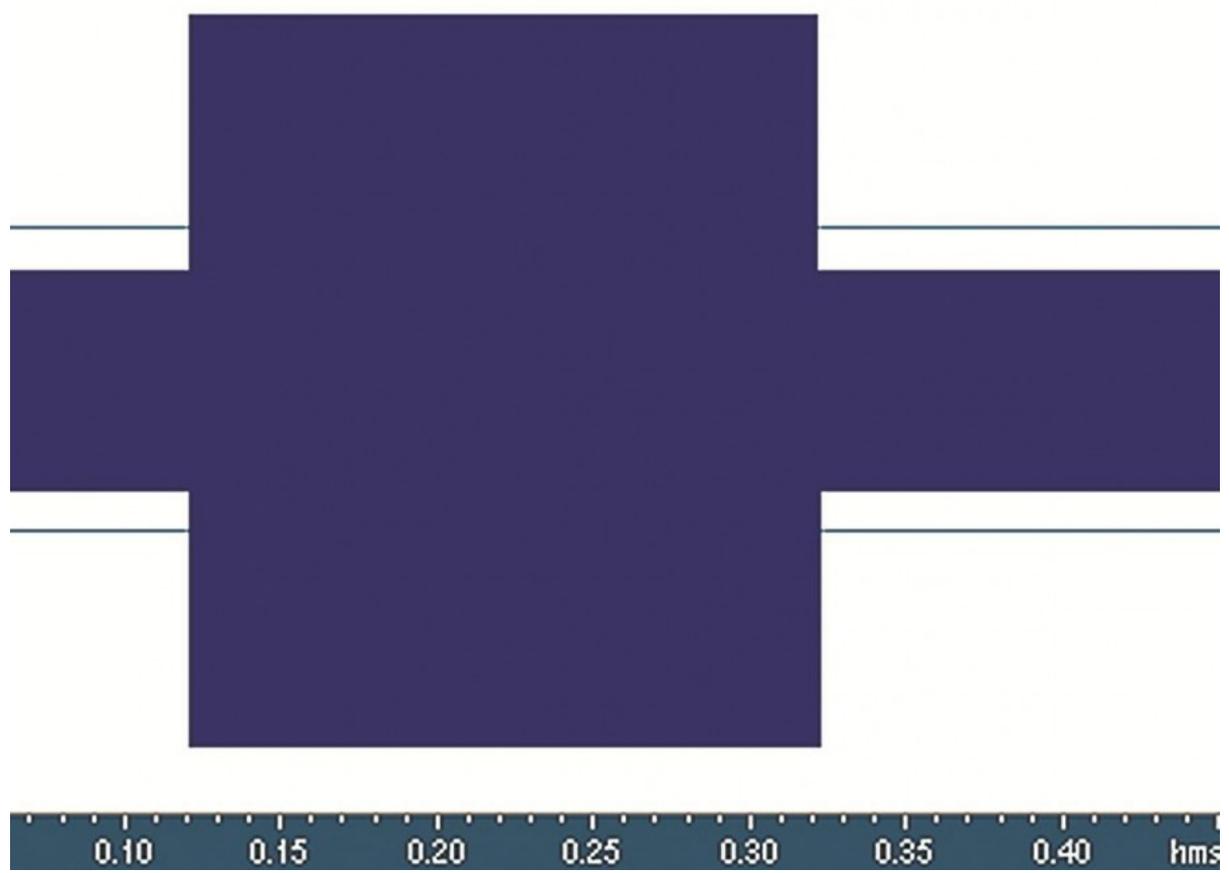
Рис. 3. Мягкий порог



Иногда передаточная характеристика сглаживается, чтобы в ней не было острых углов (рисунок 3). Этот режим называется *soft knee* или *soft threshold* (мягкий порог). Компрессор с мягким порогом начинает немного уменьшать уровень сигнала еще до достижения им величины порога. Работу устройства динамической обработки можно описать следующей схемой. Устройство следит за входным уровнем и в соответствии с ним регулирует выходной уровень, т.е. применяет к

входному сигналу некоторую амплитудную огибающую (коэффициент усиления), меняющуюся со временем. Для хорошего звучания результирующего сигнала нужно соблюсти несколько условий. Самое главное из них таково: амплитудная огибающая должна быть гладкой, без разрывов и, по возможности, без изломов. Действительно, если амплитудная огибающая имеет разрывы, то выходной звук тоже будет иметь разрывы в форме волны, слышимые как щелчки и треск. Изломы в амплитудной огибающей также будут приводить к искажениям выходного сигнала. Для сглаживания амплитудной огибающей в устройствах динамической обработки имеются два параметра: время атаки (*attack*, время срабатывания) и время восстановления (*release*). Они определяют скорость реакции устройства на изменения входного уровня. Время атаки показывает, за какое время устройство реагирует на превышение порога (атаку), а время восстановления показывает, за какое время устройство реагирует на возвращение входного уровня обратно под порог.

Рис. 4. Звук до (а) и после (б) обработки компрессором



Пусть на вход компрессора подается сначала слабый сигнал, не превышающий порог, а затем — атака, превышающая порог (рисунок 4). В соответствии с передаточной характеристикой, компрессор должен пропустить слабый сигнал без изменения, а уровень громкого сигнала (атаки) — ослабить. Время атаки указывает, за какое время компрессор изменит свой коэффициент усиления от единичного до результирующего, предписанного передаточной характеристикой. Если вслед за громким сигналом входной уровень снова опускается ниже порога, то компрессор переходит в стадию восстановления и снова увеличивает свой коэффициент усиления до единичного. Время, за которое коэффициент усиления вернется к единичному значению, и будет временем восстановления. Определения времени атаки и затухания могут различаться у разных производителей. В некоторых устройствах под временем восстановления понимается не полное время возвращения коэффициента усиления, а время его возвращения, скажем, до половины обратного пути. Часто коэффициент усиления возвращается к исходному значению по экспоненте, и в этом случае лишь второе определение имеет смысл.

Время атаки и время восстановления измеряются в миллисекундах и могут меняться в широких пределах для различных приборов динамической обработки и в зависимости от конкретных задач. Так, например, в компрессорах обычное время атаки — порядка 10...100 мс, а типичное время

восстановления — порядка 100...1000 мс. Ясно, что чем больше время атаки и восстановления, тем медленнее будет меняться во времени амплитудная огибающая, тем более гладкой она будет. Однако при большом времени атаки компрессор будет пропускать короткие атаки, превышающие порог, так как не будет успевать на них реагировать. Это может быть нежелательным, например, для лимитеров.

Еще один параметр, встречающийся в процессорах динамической обработки, это — задержка перед восстановлением (release delay или hold). Этот параметр задает время, через которое начинается стадия восстановления после спада входного уровня ниже порога. Другими словами, этот параметр позволяет отложить восстановление на некоторое время. Это может быть полезно, когда превышения порога в сигнале идут периодически, друг за другом. В этом случае задержка восстановления поможет избежать постоянного переключения компрессора между режимами атаки и восстановления и уменьшить изломанность амплитудной огибающей.

Теперь о том, каким образом приборы динамической обработки определяют уровень входного сигнала. Обычно это делается одним из двух способов и похоже на функционирование индикаторов уровня: пиковых и среднеквадратичных. Первый способ — детектирование мгновенных пиковых значений во входном сигнале. Второй — усреднение мощности во времени, то есть вычисление RMS. Пиковый

способ часто применяется в лимитерах, где бывает необходимо ограничить пиковые значения сигнала каким-то порогом (например, перед выдачей сигнала в радиовещательный тракт или записью на мастер-носитель). RMS-способ чаще применяется в компрессорах для выравнивания громкости аудио, т.к. громкость сильнее связана со среднеквадратичной мощностью, нежели с пиковой.

Пиковая мощность превышает RMS, и это нужно учитывать при настройке прибора. Также ясно, что вычисление RMS-мощности требует некоторого временного интервала для интегрирования мощности, и поэтому время реакции устройства на изменения входного уровня не может быть намного меньше, чем это время интегрирования. Другими словами, RMS-компрессор может пропустить кратковременные пики сигнала, практически не успев снизить коэффициент передачи.

Еще одна часто встречающаяся возможность процессоров динамической обработки — это side-chain — дополнительный управляющий вход для звукового сигнала. Когда эта функция задействована, прибору на вход подаются два сигнала: через основной и управляющий входы. При этом «управляющий» сигнал используется только для определения по нему входного уровня и управления уровнем основного сигнала в соответствии с передаточной характеристикой. С помощью side-chain можно достигнуть некоторых интересных эффектов. Если на side-chain подать тот же сигнал, что и на основной вход, то

устройство будет вести себя как обычно, без side-chain. Если же на side-chain подать другой сигнал, то устройство будет обрабатывать основной сигнал, руководствуясь амплитудным профилем управляющего сигнала. Например, если на side-chain подать сигнал, пропущенный через эквалайзер с частотной характеристикой, обратной кривым Флетчера-Менсона (кривые равной громкости слуха), то амплитуда управляющего сигнала будет более правильно отражать реальную громкость основного сигнала. И устройство динамической обработки будет при обработке основного сигнала руководствоваться реальной громкостью исходного сигнала, а не его амплитудой. С помощью такого приема можно более точно выравнять громкость вместо амплитуды.

Подчеркнем, что сигнал, подаваемый на side-chain, никак не влияет на тембр (частотный баланс) основного обрабатываемого сигнала. Он только управляет амплитудной огибающей.

При работе со стереозаписями процессоры динамической обработки обычно действуют в режиме linked channels, т. е. применяют одинаковые амплитудные огибающие к левому и правому каналам. В противном случае нарушается стереопанорама.

В заключение общей части о динамической обработке отмечу, что хотя с помощью компрессоров были созданы лучшие записи мировой звукорежиссуры, неосторожное обращение с компрессором способно безвозвратно

испортить хорошую запись. Ошибочно считать, что действие компрессора можно отменить экспандером. Если динамика потеряна, то расширять уже нечего. Кроме того, и компрессоры, и экспандеры обладают некоторой инерционностью, что делает невозможным точное восстановление динамики.

Максимайзеры

Максимайзер — это прибор динамической обработки, повышающий уровень фонограммы при мастеринге. *(Иногда максимайзерами называют другие типы приборов, например психоакустическую обработку типа BBE Sonic Maximizer, — их мы здесь рассматривать не будем).*

Итак, наша задача — повысить уровень готовой фонограммы до предельно возможных величин, не внося в него существенных искажений. Самый простой способ достичь этого — всем известная нормализация уровня, когда ищется пик максимального уровня в фонограмме и вся фонограмма усиливается на величину этого пика, так чтобы пик принял значение 0 дБ.

(Нормализация не обязательно означает достижение уровня 0 дБ. Обычно уровень нормализации задается вручную в децибелах или процентах, например, -0,1 дБ, -0,2 дБ или 99%, 98% и т. п. — прим. ред.). Дальнейшее увеличение уровня фонограммы приведет к клиппингу (clipping, ограничение амплитуды) — перегрузке, влекущей нежелательные искажения.

Очевидно, что для дальнейшего повышения уровня фонограммы можно применять динамическую

обработку. Если пропустить фонограмму через компрессор или лимитер, то пиковые значения фонограммы уменьшатся и можно будет еще поднять общий уровень без возникновения перегрузки.

Компрессор или лимитер использовать для повышения громкости? Известный инженер мастеринга Боб Кац рекомендует использовать компрессор, когда требуется изменение характера звука - заметное на слух уменьшение его динамики. Лимитеры же используют, когда нежелательно вносить какие-либо изменения в звук, за исключением громкости.

Максимайзер — это прибор динамической обработки, который состоит из лимитера и последующего усилителя сигнала. *(Часто в максимайзеры также встраивается система снижения разрядности, но здесь мы эту часть рассматривать не будем).*

Основные управляющие элементы максимайзера — порог срабатывания (threshold) и настройки лимитера (attack, release). В некоторых максимайзерах есть также регулятор ceiling, позволяющий после лимитирования усилить сигнал не до 0 дБ, а чуть слабее, чтобы оставить немного «свободного места» (headroom) на случай небольшой дальнейшей обработки. Например, если фонограмма будет после максимайзера закодирована в MP3, то при раскодировании форма волны немного изменится и может произойти клиппирование (превышение нуля). Даже если сигнал не предполагается далее обрабатывать или

сжимать с потерями качества, то немного свободного места может потребоваться для шума диттеринга, добавляемого при последующем снижении разрядности.

Чем ниже устанавливается порог срабатывания, тем сильнее лимитер ограничивает динамический диапазон и тем сильнее можно будет поднять громкость после лимитера. Таким образом, более низкие значения порога приводят к более громкому звучанию на выходе прибора.

Усилитель вопросов не вызывает, поэтому остановимся на устройстве лимитера. Задача максимайзера — максимально повысить уровень фонограммы, но не допустить клиппинга, т. е. не позволить мгновенной мощности выйти за пределы уровня 0 дБ. Из этого следует, что в качестве метода определения входного уровня для максимайзеров подходит только пиковый метод. Максимайзер должен отслеживать пики сигнала и строить амплитудную огибающую так, чтобы после ее применения к сигналу пики оказались ниже уровня порога. Когда входной уровень ниже порога, лимитер максимайзера пропускает сигнал без изменений. А когда входной уровень превышает порог, лимитер должен ослабить сигнал так, чтобы превышения порога не было.

Так как мы хотим, чтобы амплитудная огибающая была плавной, без разрывов и изломов, то мы приходим к заключению, что лимитер должен знать, какой амплитудный профиль будет у звуковой волны в ближайшие моменты времени. Действительно, если бы такой возможности у

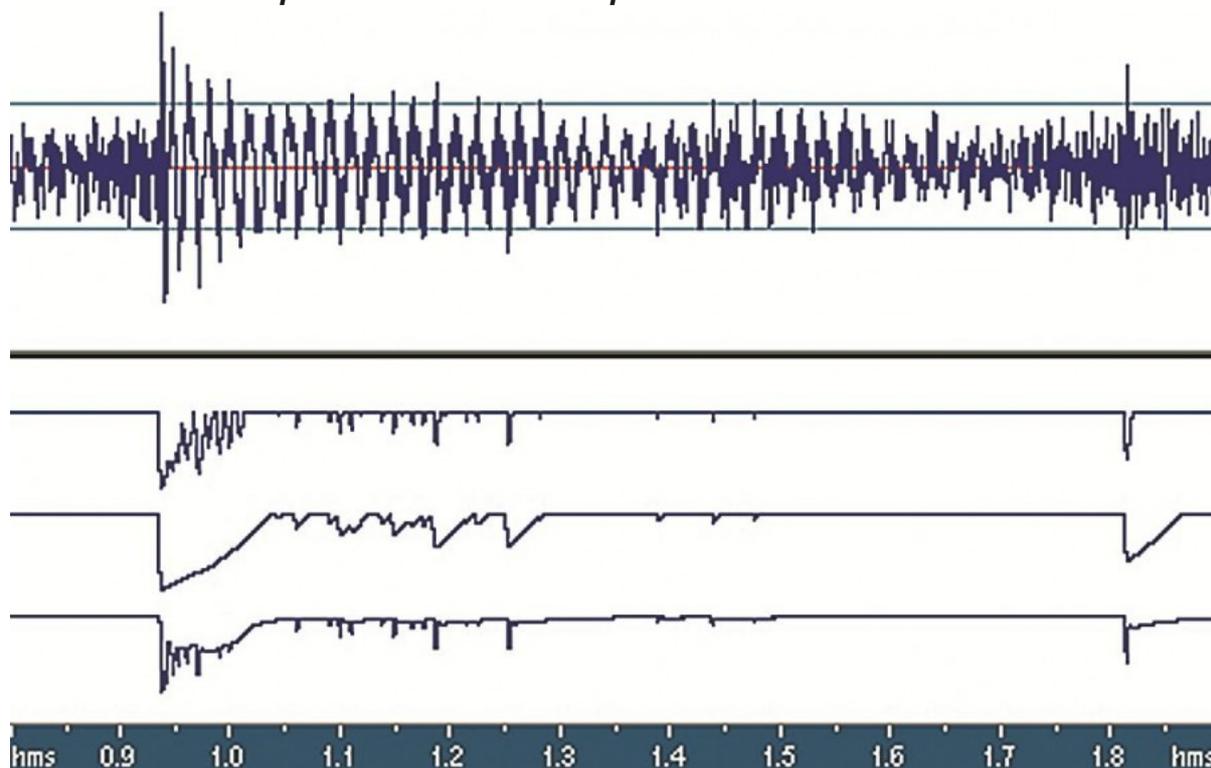
лимитера не было, то при возникновении на входе резкой атаки, превышающей порог, лимитеру пришлось бы мгновенно понизить уровень усиления, чтобы предотвратить превышение порога.

Мгновенное понижение уровня усиления — это и есть разрыв или излом в амплитудной огибающей, которого желательно избежать.

Итак, для построения плавной амплитудной огибающей лимитеру необходимо знать значения сигнала с некоторым опережением. Так как надежно предсказать сигнал по прошедшим значениям возможности нет, то функция «заглядывания вперед» (look-ahead) реализуется с помощью небольшой задержки выходного сигнала относительно входного. Таким образом, при выдаче выходного сигнала, соответствующего моменту времени t , у лимитера на самом деле уже есть входной сигнал для моментов времени вплоть до $t+T$, где T — время задержки. О задержке следует помнить, когда требуется синхронизация сигналов в программах, обрабатывающих сигнал в реальном времени. Если же обработка осуществляется не в реальном времени, то программа, выполняющая обработку (host-приложение), чаще всего может компенсировать задержку, т. е. «выровнять» выходной сигнал максимайзера по времени. Обычно задержки, вносимые максимайзерами, невелики, до 10 мс, но бывают и исключения.

Рис. 5. Исходный звук (показан порог лимитера) и амплитудные огибающие, построенные различными максимайзерами. Сверху — быстрые

*восстановления, в середине — медленные, снизу
— алгоритм автоконтроля восстановлений*

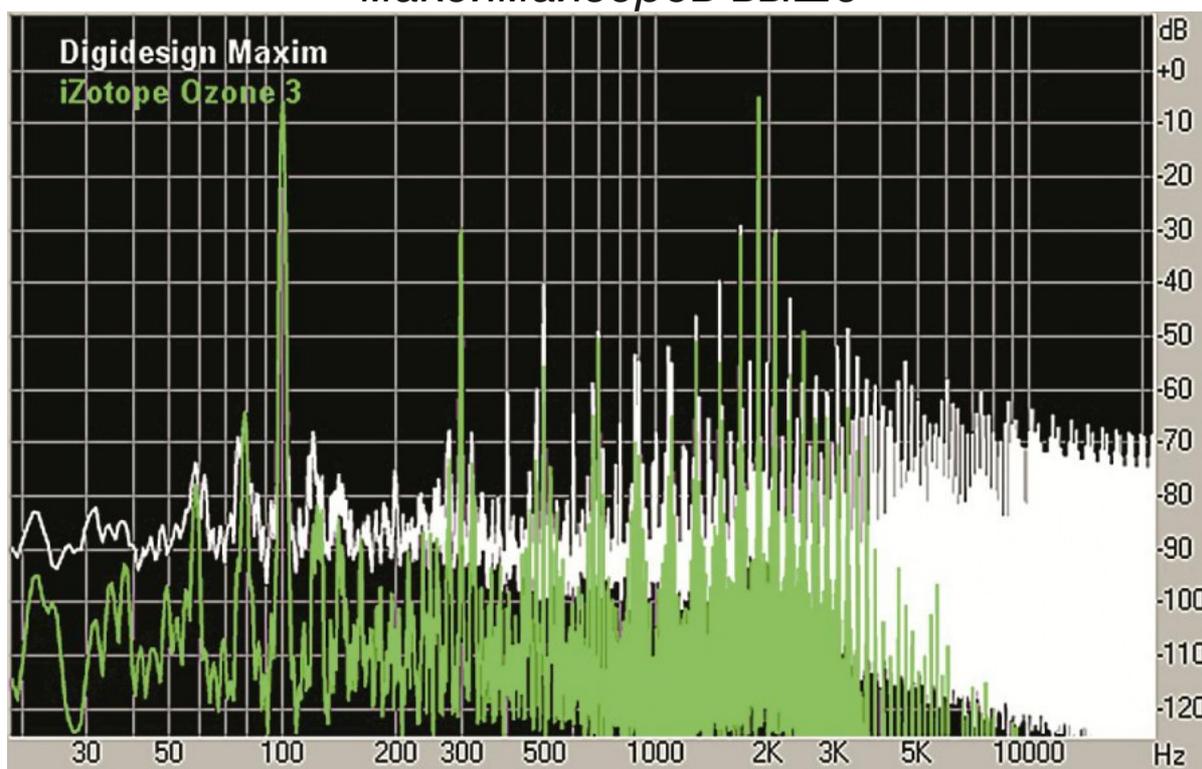


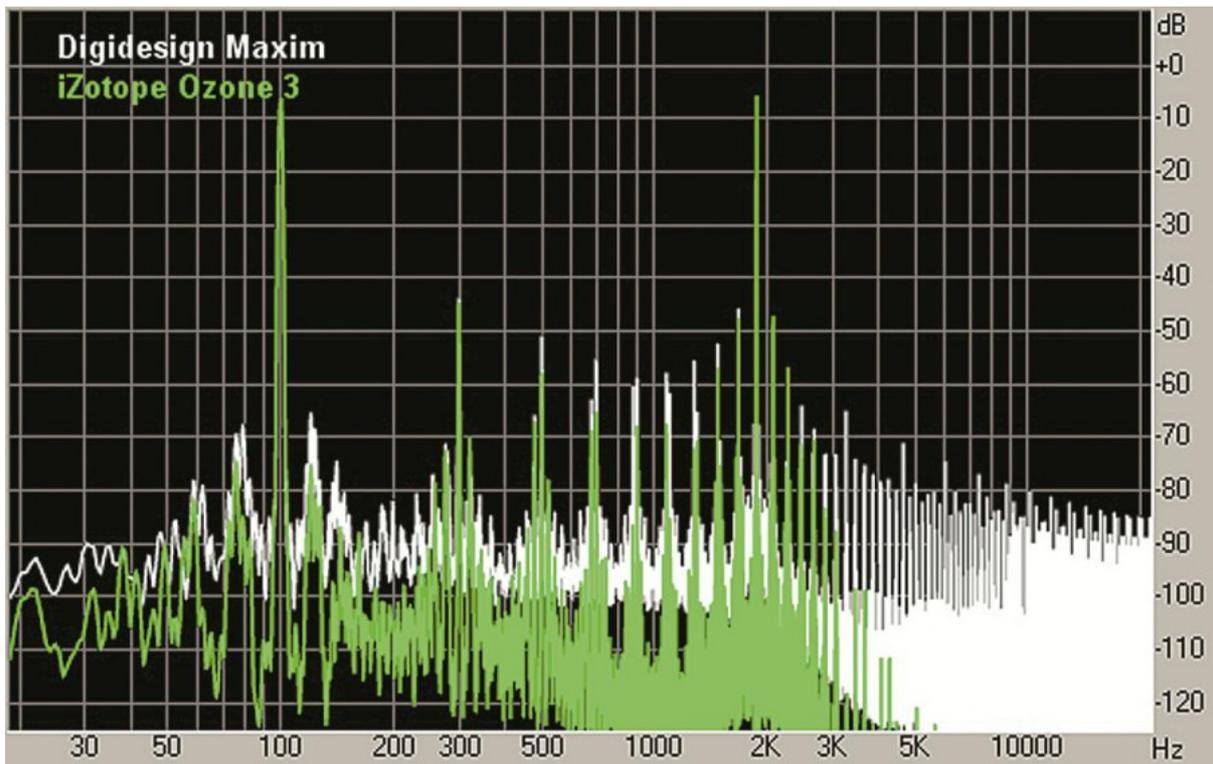
Руководствуясь будущими значениями пиковых уровней, лимитер может построить плавную амплитудную огибающую, начав ослаблять усиление заранее, до начала атаки во входном сигнале. Другими словами, лимитер должен построить амплитудную огибающую вокруг пиков в виде ямок, где глубина ямок будет определяться величиной превышения порога пиковым уровнем, а ширина — временем атаки и восстановления (рисунок 5). Ясно, что чем шире ямки, тем большие участки сигнала будут подавлены и тем меньше будет окончательная громкость фонограммы. Таким образом, громкость фонограммы зависит не только от установленного значения порога, но и от времени атаки/восстановления, а также от формы амплитудной огибающей во время атаки и восстановления.

Управление временем атаки и восстановления

Когда сигнал умножается на амплитудную огибающую, в спектре сигнала могут появляться дополнительные гармоники. Чем меньше время атаки и восстановления максимайзера, тем громче получается результирующий звук, но тем более изломанной становится амплитудная огибающая и тем больше возникает интермодуляционных искажений.

Рис. 6. Интермодуляционные искажения, возникающие при пропускании двух гармоник через максимайзеры. На первом рисунке агрессивность максимайзеров выше





При малом времени атаки и восстановления интермодуляционные искажения становятся особенно заметными, когда в сигнале присутствуют басовые тона большой амплитуды с периодом, меньшим или равным времени атаки/восстановления. Это можно продемонстрировать на тестовых сигналах, являющихся суммами синусоид с различными частотами (стандартный тест интермодуляционных искажений, рисунок 6).

При большом времени атаки и восстановления начинает проявляться эффект «проваливания» громкости (pumping). Провалы громкости возникают вокруг кратковременных пиков в сигнале (рисунок 5). Вокруг каждого из таких пиков амплитудная огибающая имеет форму широкой ямы, проваливая по громкости весь сигнал. На слух это воспринимается как выпадение, дрожание громкости.

Таким образом, выбор времени атаки/восстановления — это компромисс между интермодуляционными искажениями и эффектом проваливания громкости. Для дальнейших рассмотрений введем понятие агрессивности максимайзера. Будем говорить, что один максимайзер агрессивнее другого, если при равных значениях порога первый максимайзер дает более громкий (по RMS) звук на выходе. Понятно, что агрессивность зависит от времени атаки/восстановления и от формы амплитудной огибающей во время атак/восстановлений. У большинства максимайзеров пользователь устанавливает время атаки и восстановления вручную, после установки величины порога. Если слышны интермодуляционные искажения, то агрессивность уменьшается (время атаки/восстановления увеличивается). Если не слышны — то можно попытаться увеличить агрессивность в надежде достичь большей громкости и уменьшения эффекта проваливания громкости. Обычно глубокое лимитирование требует большего времени атаки/восстановления.

Существует способ автоматического адаптивного управления агрессивностью максимайзера на основании анализа входного сигнала.

Действительно, если в фонограмме присутствуют резкие пики, то желательно повысить агрессивность, чтобы не возникло эффекта проваливания громкости. Интермодуляционных искажений в данном случае не возникнет, так как если пики единичны, то в амплитудной огибающей

не будет существенных периодичностей, приводящих к интермодуляционным искажениям. Кроме того, наше ухо обладает свойством пониженной чувствительности к кратковременным, до 6 мс, искажениям. Таким образом, максимайзер будет быстро реагировать на единичные пики, сразу возвращаясь к единичному коэффициенту усиления.

Если же на вход поступает периодический сигнал, с постоянными, периодически следующими превышениями порога, то желательно понизить агрессивность максимайзера (т. е. увеличить время атаки/восстановления), чтобы не возникло интермодуляционных искажений.

Если осуществлять такое регулирование адаптивно, постоянно подстраиваясь под входной сигнал, то это позволит заметно повысить среднюю агрессивность максимайзера (т. е. громкость выходного сигнала) без увеличения искажений.

Один из первых максимайзеров, реализующих такую стратегию, — Waves L2 в режиме ARC (Auto Release Control). Следует отметить, что дословное понимание термина «автоматическое управление временем восстановления» не совсем точно описывает принцип работы Waves L2. В этом максимайзере используется несколько более сложный метод построения амплитудной огибающей, основанный на комбинировании двух видов амплитудных огибающих: агрессивной и неагрессивной. При единичных пиках входного сигнала применяется агрессивная огибающая, а при периодических, групповых превышениях порога —

определенная комбинация двух огибающих. Таким образом достигается более громкое и качественное звучание, чем при простом управлении временем восстановления. Похожий алгоритм реализован в максимайзере iZotope Ozone.

Тест

Чтобы проверить наличие функции автоконтроля агрессивности, проведем несложный тест. В левом канале тестового файла создадим следующий тестовый сигнал. В первую секунду пусть там будет один кратковременный импульсный пик. Во вторую секунду поместим туда синусоиду с частотой 100 Гц и оставим в конце немного тишины. В правый же канал поместим постоянный ток (DC) на протяжении всего файла. Амплитуду сигналов выберем так, чтобы и импульс, и синусоида превышали порог максимайзера, а постоянный ток — не превышал.

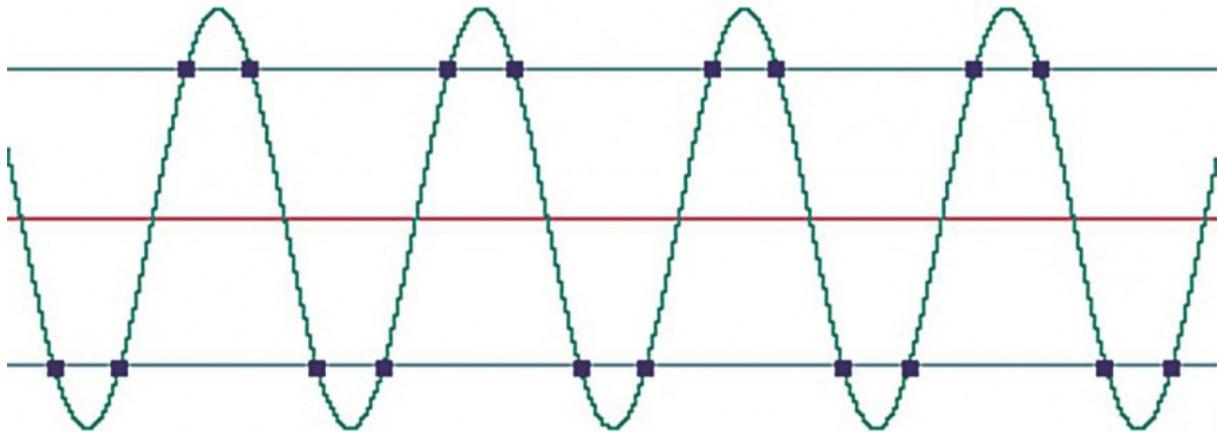
Пропустим наш тестовый сигнал через максимайзер, обратив внимание на то, чтобы он работал в режиме *linked channels*, то есть применял одну и ту же амплитудную огибающую к обоим каналам. Тогда на выходе максимайзера в правом канале будет содержаться амплитудная огибающая, которую максимайзер построил по левому каналу (рисунок 5). Посмотрев на форму волны амплитудной огибающей, можно сделать много полезных выводов о функционировании максимайзера. Если время восстановления после пика существенно меньше времени восстановления после синусоиды, то максимайзер использует автоконтроль времени восстановления.

Перегрузка между отсчетами

Подавляющее большинство максимайзеров — цифровые приборы. Действительно, в аналоге практически невозможно сделать «заглядывание вперед», и поэтому аналоговые пиковые лимитеры обречены либо на мгновенное время атаки (что приводит к изломам амплитудной огибающей), либо на пропуск некоторой перегрузки (клиппирование). Цифровые максимайзеры способны «заглядывать вперед» и заранее реагировать на атаку, за миллисекунды до наступления пика.

Цель большинства цифровых максимайзеров — не допустить превышения порога цифровой волной, то есть ограничить значения всех отсчетов сигнала величиной порога. Однако такое цифровое ограничение не обеспечивает отсутствие превышения порога в аналоговой волне, восстановленной по цифровому сигналу. Действительно, аналоговая волна, плавно осциллируя между дискретными отсчетами, может превышать уровень цифровых отсчетов на величину до 3 дБ (рисунок 7).

Рис. 7. Аналоговые и цифровые пиковые уровни могут не совпадать. Разница может составлять до 3 дБ



Как это может сказаться на звуке? Во-первых, может произойти перегрузка ЦАП. Обычно ЦАП используют передискретизацию — цифровое повышение частоты дискретизации сигнала. В этом случае восстановленные цифровые значения волны между отсчетами исходной цифровой волны могут переполнить разрядную сетку ЦАП (что часто и происходит). Таким образом, клиппирование «аналоговой» волны привело к искажениям звука еще до того, как сигнал стал аналоговым. Но даже если ЦАП правильно восстановил волну выше уровня 0 дБ FS, то остальные компоненты аудиоцепи (например, операционные усилители) могут оказаться не столь устойчивыми к перегрузкам.

Вот простой тест, позволяющий определить работоспособность функции устранения аналогового клиппирования у максимайзера. Сгенерируем в цифровом файле синусоиду с частотой, равной четверти частоты дискретизации, и начальной фазой 45° (рис. 1). Для такой синусоиды аналоговая волна превышает значения цифровых отсчетов на 3 дБ. Пропустим эту синусоиду через максимайзер. Установим порог как можно ниже. Если максимайзер не позволяет разогнать уровень цифровых отсчетов сколько-нибудь заметно выше, чем -3 дБ, то он правильно определяет пики аналоговой волны. Если же он привычно разогнал цифровые отсчеты до 0 дБ, то детектирование пиков в нем осуществляется по цифровой волне.

Оказывается, можно осуществить лимитирование в цифровом формате так, чтобы в восстановленной аналоговой волне также не содержалось превышений порога. Для этого достаточно с помощью передискретизации алгоритмически восстановить аналоговую волну и провести детектирование пиков не по цифровым отсчетам, а по аналоговой волне. Дальнейшее лимитирование цифровой волны осуществляется как обычно, но с использованием новой, «аналоговой» информации о пиках сигнала.

Традиционное средство для борьбы с проблемой аналогового клиппирования — это занижение

параметра ceiling (коэффициента усиления после лимитирования) на доли децибела. Как теперь очевидно, такая мера совершенно недостаточна. Для реального аудио аналоговое превышение порога часто составляет 1...1,5 дБ, а не доли децибела.

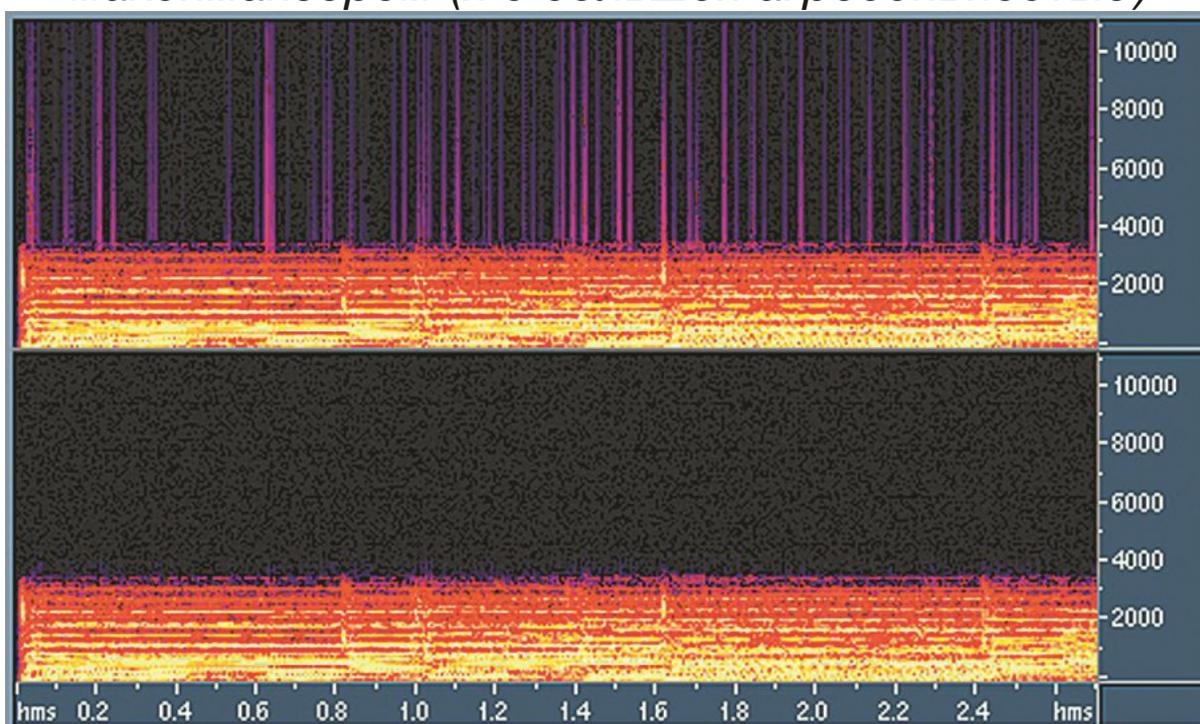
Сглаживание амплитудной огибающей

Для иллюстрации этих искажений проведем следующий простой эксперимент. Возьмем любую аудиозапись и отфильтруем в ней все частоты выше 3 кГц. После этого пропустим запись через максимайзер. Установим порог так, чтобы лимитер не бездействовал, и будем слушать результат. Если мы выбрали максимайзер с разрывами или изломами амплитудной огибающей, то в записи будет слышен заметный треск (рис. 8).

Разрывы и изломы амплитудной огибающей — обычное явление для подавляющего большинства максимайзеров. Они приводят к соответствующим разрывам и изломам в форме волны выходного звука. В терминах спектра это означает, что спектр возникающих интермодуляционных искажений становится широким, охватывающим все частоты. При этом слышимость искажений многократно возрастает. Действительно, при гладкой амплитудной огибающей интермодуляционные искажения обычно группируются вокруг пиков в спектре сигнала, где они с большой вероятностью будут психоакустически замаскированы этими пиками. При наличии же изломов и разрывов

амплитудной огибающей спектр искажений расширяется и может выйти за порог маскировки. Искажения становятся слышны как треск.

Рис. 8. Сонограмма треска, появляющегося в записи, после обработки максимайзером. Верхний отрывок был обработан максимайзером без сглаживания амплитудной огибающей. Снизу — тот же отрывок, но обработанный более точным максимайзером (и с большей агрессивностью)



Зачем мы отфильтровали все выше 3 кГц? Чтобы треск стал заметнее. Если бы мы не отфильтровывали ВЧ, то треск был бы тот же самый, только он бы несколько маскировался высокими частотами исходного звука.

Операция сглаживания амплитудной огибающей невозможна без «заглядывания вперед» (look-ahead). Рассмотрим еще раз, как реализуется функция look-ahead в приборах. Так как невозможно надежно предсказать сигнал по его прошедшим значениям, то функция look-ahead

осуществляется с помощью небольшой задержки выходного сигнала относительно входного. Таким образом, при выдаче выходного сигнала, соответствующего моменту времени t , у лимитера, на самом деле, уже есть входной сигнал для моментов времени вплоть до $t + T$, где T — время задержки. Это похоже на канал новостей, который ретранслирует другое новостное агентство с задержкой в 10 минут. В каждый момент времени сотрудники канала уже знают, что будет через 10 минут, и могут соответственно модифицировать выдаваемые зрителям новости, достигая лучшего качества материала за счет задержки.

Следует помнить, что задержка, вносимая лимитером, может быть в некоторых ситуациях нежелательной. Например, если в разрыв линейки пульта вставить лимитер, то эта линейка будет задержана по времени относительно других, что может привести к искажению тембра при микшировании. К счастью, максимайзером обычно обрабатывается уже готовый микс в процессе мастеринга, и в этом случае задержка роли не играет. (О задержке следует помнить, когда требуется синхронизация сигналов по времени в приложениях обработки реального времени. Если же обработка осуществляется не в реальном времени, то приложение, выполняющее обработку (host-приложение) чаще всего может скомпенсировать задержку, т. е. выровнять выходной сигнал максимайзера по времени. Обычно задержки, вносимые максимайзерами, невелики, до 10 мс).

Если же максимайзер, работающий в реальном времени, не вносит задержки в сигнал, то это значит, что он либо допускает превышения порога, либо его амплитудная огибающая — изломанная. Третьего не дано...

Руководствуясь будущими значениями пиковых уровней, лимитер может построить плавную амплитудную огибающую, начав ослаблять усиление заранее, до начала атаки во входном сигнале.

Советы по использованию максимайзеров

Максимайзер должен быть последним звеном в цепи мастеринга. После него осуществляется только снижение разрядности аудио (часто оно совмещено с максимизацией). Все остальные обработки и преобразования звука, в том числе преобразование частоты дискретизации, должны выполняться до максимизации уровня, поскольку они могут изменить пиковые значения звуковой волны и привести к клиппированию или неполному использованию динамического диапазона.

При настройке параметров максимайзера следует отталкиваться от уровня громкости фонограммы, который нужно получить. Установите порог максимайзера в соответствии с желаемым увеличением громкости, и после этого переходите к настройке агрессивности. Если заметны интермодуляционные искажения (например, хрип на басовых нотах), уменьшите агрессивность (например, увеличивая время восстановления). Если искажения не заметны — попробуйте

увеличить агрессивность, чтобы уменьшить эффект проваливания громкости (pumping).

Если порог максимайзера уже очень низко, а громкости все равно недостаточно — обратитесь к другим приборам динамической обработки.

Обработайте звук компрессором. Если даже после компрессора и максимайзера «разгон» не тот — попробуйте многополосный компрессор. Если и этого мало — проверьте, не превратилась ли уже фонограмма в розовый шум.

Лимитеры и максимайзеры легко могут «убить» микродинамику фонограммы. Если компрессия обычно является художественным приемом, то лимитирование — скорее, технологическим решением. А технологию лучше оставить для специалистов по мастерингу, которые чаще всего обладают более качественной аппаратурой и средствами контроля результата.

Искажающие динамические эффекты

Помимо компрессии, т.е. сжатия динамического диапазона, в музыке очень широко используются т.н. искажающие динамические эффекты. Их принцип действия заключается в том, что при клиппировании сигнала, в нем появляется большое количество дополнительных обертонов, т.е. изменяется/искажается его тембр. Основную часть таких эффектов составляют гитарные «примочки».

Обычно выделяют три основных вида гитарных динамических эффектов: Overdrive, Distortion и Fuzz, которые отличаются характером и степенью искажений.

Overdrive

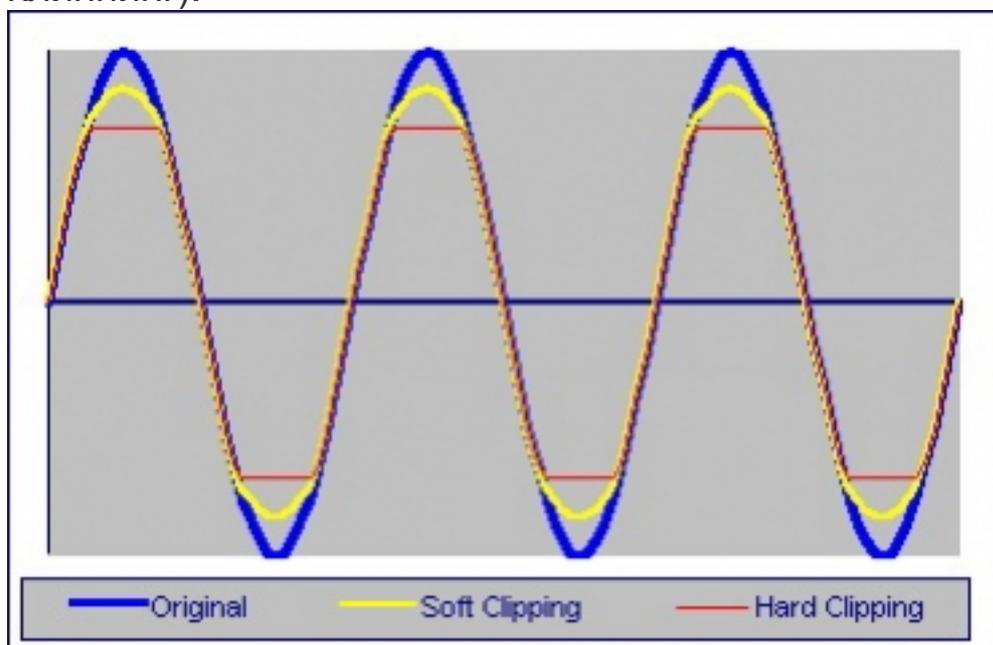
Если добавить мощности, гейна (gain) ламповому усилителю, то получится перегруженный, но естественный звук с теплыми обертонами. Это и делает овердрайв — имитирует перегруз лампового усилителя. Но если раньше такой эффект

достигался за счет увеличения громкости и перегруза, то сейчас педали овердрайва позволяют исказить звук на приемлемом уровне громкости, добавляя лишь классические «хрустящие» оттенки, мягкие и натуральные.

Distortion

Педали дисторшена имитируют звук сильно перегруженного лампового усилителя. При этом звучание получается более плотным и менее естественным, сустейн становится дольше. В сравнении с овердрайвом, амплитуда звуковых волн при дисторшене обрезается сильнее и оттенок сигнала получается более четким. Дисторшн обычно используется гитаристами в хард-роке, металле и панк-роке. Помимо электрогитары, эффект применяют и с другими инструментами, например, с бас-гитарой и синтезатором.

На рисунке ясно видны различия между овердрайвом и дисторшеном. В обоих случаях сигнал обрезается, из-за чего звук приобретает характерную резкость. Но если овердрайв «мягко» ограничивает сигнал по амплитуде, то дисторшн делает это более резко (ближайшая аналогия — софт- и хард-клиппинг):



Синяя линия - оригинальный сигнал, красная — дисторшн, желтая — овердрайв.

Fuzz

Фузз ограничивает амплитуду сигнала еще сильнее, так что входящий синусоидальный сигнал на выходе будет иметь почти прямоугольную форму, что и соответствует

классическому тембру фузза. Он создаёт значительно большие искажения, чем дисторшн или овердрайв, и придаёт инструменту синтетическое звучание, как правило, с более низкими средними частотами. Фузз педали стали популярны в расцвете психоделического рока 60-х. По звучанию они больше напоминают рыхлый и колючий звук неисправного усилителя с большим количеством обертонов.

Все материалы взяты из открытых источников, носят исключительно ознакомительный характер и предназначены для студентов кафедры звукорежиссуры ТРФ МГИК очной/заочной форм обучения, на период введённого, в связи с режимом самоизоляции, дистанционного обучения. Не для публичного распространения!

Список источников:

allprosound.ru
cambridge-mt.com
digitalmusicacademy.ru
etheroneph.com
ldsound.ru
moinf.info
prosound.ixbt.com
samesound.ru