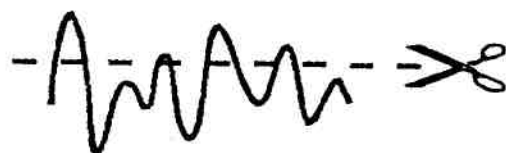


# Сжатие против ограничения (\*)



Б.Родин, RW3AY

\* Отрывок из книги (печат. с сокр.), выход в IV кв. 2003 года.

Наши представления об устройствах сжатия динамического диапазона, как элемента для повышения эффективности SSB передачи значительно устарели. Чрезмерное увлечение всевозможными ограничителями приводит к тому, что кажущийся незначительный выигрыш на самом деле оборачивается большими проблемами. Нелишне напомнить, что, пройдя ряд высокочастотных преобразований в любительском передатчике, звуковой сигнал подвергается многократному клиппированию, в том числе и в выходном каскаде. Не лучше ли добиться качественного сигнала, чем его клиппирование по всему радиочастотному тракту. Так может быть скомпрессировать его там, где это нужно – на входе передатчика, а не там, где всегда – в преобразователях и окончном каскаде? Собственно, разговор пойдет о звуковых компрессорах.

На мой взгляд, расширение кругозора в области звуковой обработки поможет при самостоятельной разработке и предохранит от возможных ошибок. Не смотря на то, что большая часть рассуждений относится к обработке звука в широкой полосе звучания, основы обработки остаются неизменными, и с большой ответственностью заявляю – они в полной мере подходят для обработки речевого спектра в радиолубительских передающих трактах.

Надеюсь, что эта статья будет полезна любителям-самодельщикам для более лучшего понимания процессов, с которыми так или иначе приходится сталкиваться при конструировании. Выражаю благодарность, в первую очередь, Игорю Подгорному (EW1MM) – беседы с ним, RA1XM, RV3AE, RA4CFP и другими подтолкнули к написанию этой статьи.

.....  
**Ограничитель** – безинерционный регулятор уровня – при превышении порога ограничения синусоидальный сигнал превращается в трапецию – в результате сильные искажения.

**Компрессор** – инерционный авторегулятор уровня звука – коэффициент передачи автоматически изменяется в зависимости от уровня сигнала на входе – искажения проявляются только в течение незначительного интервала времени. Подбором оптимального времени срабатывания, искажения малоощутимы на слух.  
.....

Уж, очень зыбкая тропинка, по которой радиосигнал проходит от источника до приемника. А что же такое "качество сигнала"? В широком смысле – способность удовлетворить слушателя. "Качество звучания" понятие субъективное: для одного важна громкость, другому – прозрачность звучания, третий обратит внимание на тональность, четвертый – на пространственное впечатление, пятый попытается хоть что-то разобрать и так далее. Абсолютной меры качества звучания не существует в принципе, но чем больше знаешь о свойствах слуха и о возможностях современных устройств обработки сигналов, тем выше вероятность, что

звучание именно твоей радиостанции понравится коллегам “по несчастью”...

Прежде чем перейти непосредственно к теме, хочу поделиться некоторыми соображениями. Ваше право принять их или отвергнуть.

Поскольку компрессоры относятся к устройствам динамической обработки сигналов, то и требования к аппаратуре обусловлены ее назначением: нужно обеспечить максимальное значение среднего уровня сигнала при фиксированном пиковом значении, а сама обработка не должна вызывать дискомфорта восприятия при прослушивании.

Важнейшим из устройств обработки динамического диапазона является компрессор. Для получения ощутимого на слух сжатия динамического диапазона скорость изменения коэффициента передачи должна быть достаточно высокой. Переходные процессы в компрессоре должны закончиться раньше, чем слух успеет оценить громкость сигнала. В то же время, повышением скорости регулирования злоупотреблять не следует, т.к. приводит к искажениям: звук становится тусклым, пережеванным и может вызывать раздражение.

Принцип действия компрессора прост: сигналы с высоким уровнем ослабляются, а сигналы с уровнем низким, наоборот, усиливаются. В результате динамический диапазон уменьшается. На этом принципе построены все компрессоры, включая самые разнообразные модели. Различия между компрессорами как раз и заключаются в особенностях временных характеристик. Многие ведущие производители не приводят принципиальных схем этих узлов в своих описаниях, а сами модули иногда даже заливают компаундом.

*Очень важно запомнить — если коэффициент усиления (усилителя) зависит от амплитуды входного сигнала, то такой прибор в целом называют динамическим процессором. И все динамические процессоры обладают одним общим регулируемым параметром: порогом срабатывания (Threshold). Это значит, что процессор не влияет на сигнал до тех пор, пока тот не превысит этот порог или не упадет ниже его.*

Для повышения эффективности компрессии и уменьшения заметности искажений применяют отдельную обработку сигнала в частотных полосах, что позволяет для каждой полосы выбрать наиболее подходящие временные характеристики, учитывающие особенности слуха. Само по себе число полос не является мерой качества, например, считается достаточным разделение звукового спектра на 4...6 полос (в радиовещании!).

Сжатие динамического диапазона в той или иной степени сопровождается искажениями звучания. Предсказать заметность этих искажений, изучая принципиальные или структурные схемы, практически невозможно. Самый надежный способ оценки качества работы компрессора — на слух! Для оценки лучше использовать сигналы, на которых наиболее вероятно проявление недостатков алгоритма обработки или его реализации (как правило, характерными считаются бухающие и шипящие звуки голосового тембра).

*Использовать компрессор или не использовать — дело вкуса, а наличие в тракте передачи лимитера — это уже необходимость, если буквально следовать “букве закона” при соблюдении правил работы в эфире.*

Лимитер позволяет исключить превышение допустимого значения девиации уровня выходного сигнала. Если уровень сигнала оказывается слишком большим, то коэффициент передачи лимитера уменьшается. Скорость срабатывания обычно очень высока: весь процесс установления занимает око-



ло одной миллисекунды. При понижении уровня сигнала коэффициент передачи восстанавливается, причем происходит это медленно – скорость изменения составляет обычно от 3 до 10 дБ/с.

В дополнение к лимитеру может использоваться и безынерционный амплитудный ограничитель. Но ограничение амплитуды – это всегда искажения, хотя, если срезаются только короткие пики сигналов длительностью несколько миллисекунд, то такие искажения на слух малозаметны. Если изменение коэффициента передачи лимитера не превышает 2...3 дБ, то искажения звучания практически не слышны.

## КОМПРЕССИЯ ЗВУКА И КОМПРЕССОРЫ

### Компрессирование звука

Собственно говоря, это сжатие динамического диапазона или уменьшение разницы между самыми громкими звуками (пиками) и средним уровнем сигнала. Краткое описание физического процесса в общем случае, и название прибора или устройства, обеспечивающего подобное действие, происходит от английского глагола *“to compress”* – *сжимать*. Звуковые компрессоры предназначены для сжатия динамического диапазона исходного звукового сигнала, а правильный подбор управляющих параметров придает видимость более плотного, “пробивного” звука.

*Существует одно непреложное правило – “Общая громкость увеличивается до тех пор, пока пики сигнала не “съедят” запас канала по перегрузке!”*

В любительской практике применения подобных устройств, чаще всего неудачных, получается зачастую не всегда, как предопределяет теория. Одна из причин – отсутствие соответствующих знаний.

Значит надо разбираться ... И прежде всего понять какое значение имеют основные параметры компрессии.

К основным параметрам компрессии относятся:

- порог срабатывания (Threshold),
- степень компрессии (Ratio) от 1 до бесконечности,
- время срабатывания (Attack)
- время восстановления (Release)
- и другие (в нашем случае, играющие второстепенную роль).

Вот эти параметры и попробуем раскрыть по-подробнее.

### Великолепная пятерка

*Порог срабатывания (Threshold)* — подразумевает под собой уровень, на котором компрессор включается и начинает ослаблять сигнал, лежащий выше этого значения. С помощью соответствующего регулятора можно установить требуемое значение. Если уровень порога срабатывания компрессора установлен на 0 дБ, то все сигналы выше этого уровня будут скомпрессированы, а те, что остались ниже, не изменятся. Исходя из этого, чтобы управлять пиковыми значениями, нужно установить порог срабатывания между максимальным и средним уровнями сигнала. Тогда, пиковые значения, которые переходят границу установленного порогового уровня, будут ослаблены, а сигналы среднего уровня громкости останутся прежними. К выбору порогового значения компрессора нужно подходить весьма осторожно: если уровень порога срабатывания слишком высок, сигнал не подвергнется ни-



какой обработке. Если же наоборот, пороговое значение слишком мало, то скомпрессируется весь сигнал и, скорее всего, просто заглушится.

*Глубина компрессии (Ratio)* — отвечает за разницу между входным и выходным уровнями сигнала. Проще говоря, с помощью регулятора глубины компрессии можно установить, насколько будет скомпрессирован сигнал, который перешел границу порога срабатывания компрессора. Например, если вы зададите значение глубины компрессии равное 2:1, от первоначального сигнала величиной 2 дБ, лежащего выше порогового значения, останется только 1 дБ. Допустим, сигнал, превышающий пороговое значение, имеет мощность 6 дБ. Тогда, при глубине компрессии равной 2:1, компрессор задавит этот сигнал на 3 дБ, и в результате, на выход поступят остаточные 3 дБ. Ровно столько же (3 дБ) вам покажет индикатор ослабления усиления (gain reduction meter), если он имеется.

Обычно разным сигналам (например, музыкальным инструментам и, соответственно, характеристикам) требуется своя индивидуальная глубина компрессии. Например, чтобы скомпрессировать мелодичный голос или вокальную партию, вполне будет достаточно глубины компрессии 2:1; с таким значением и с соответствующим пороговым уровнем компрессор отлично справится со своей задачей — он уплотнит звучание, сделает тихие фразы более отчетливыми и не допустит искажений при повышении динамики голоса. Для басовитых голосов с большим диапазоном звучания, скорее всего, придется установить глубину компрессии большую, вплоть до 6(8):1.

Как и порог срабатывания, так и глубина компрессии в равной степени отвечают за выходной уровень сигнала. Чем меньше глубина компрессии, тем меньше компрессор воздействует на сигнал; чем выше над сигналом лежит пороговое значение, тем меньшая часть сигнала попадает под компрессию. Изменяя эти параметры, можно достичь весьма интересных результатов. Например, существуют два совершенно разных метода, которые при абсолютно непохожем звучании заставляют компрессор ослаблять сигнал на одинаковую величину: низкий порог и, одновременно, низкая глубина компрессии, или же высокая глубина и высокий порог.

*Время атаки (Attack Time)* — измеряется в мили- или микросекундах и отвечает за то, насколько быстро срабатывает компрессор при преодолении сигналом порогового значения. Большое время атаки позволяет компрессировать сигнал, не затрагивая быстрых, переходных сигналов, в то время как малое время атаки позволяет “поймать” мгновенные звуки и пропустить звуки средней длительности, однако ослабляет при этом высокие частоты.

Здесь, как это часто встречается, есть одна небольшая путаница. Дело в том, что разные производители компрессоров измеряют время атаки по-разному. Одни разработчики берут за время атаки тот промежуток времени, за который компрессор срабатывает после того, как сигнал преодолет границу порогового значения. Другие же считают, что время атаки означает, сколько уйдет у компрессора времени на то, чтобы ослабить сигнал на 60...90% от максимально возможного значения. К счастью, все эти казусы практически не вносят никаких неурядиц в работу с компрессором: в основном, время атаки определяется на слух (теми людьми, кто с ним работает). В зависимости от желаемого эффекта, достаточно просто уменьшать время атаки до тех пор, пока не “погасятся” нежелательные пики, или же увеличивать его, пока не



добьетесь компрессии средних по скорости сигналов, не затрагивая при этом мгновенные значения. Если сомневаетесь в правильности настройки "на слух", можете корректировать свои действия, глядя на индикатор выходного уровня компрессора (здесь говорится о профессиональных устройствах). Что позволит определить, какие части сигнала ослабляются.

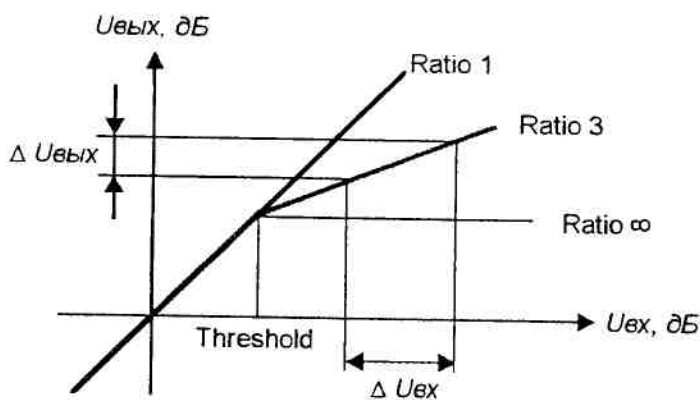


Рис.1

$$\text{Ratio} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}}$$

**Время восстановления сигнала (Release Time)** — измеряется в секундах или в сотых долях секунды. Оно определяет, сколько времени потребуется компрессору на то, чтобы вернуть сигнал в исходное, необработанное состояние. Таким образом, после того как истечет время восстановления, компрессор перестанет воздействовать на сигнал. Чаще всего, чем больше время восстановления, тем натуральнее звучит голос или музыкальный инструмент.

Допустим, что требуется заглушить резкие звуки, наподобие щелчков, а основное звучание оставить нетронутым, — достаточно установить малые значения времени атаки и восстановления, чтобы компрессор "побыстрее" справлялся со своей работой. Если же установить умеренную атаку и достаточно большое время восстановления, например, двухсекундное восстановление, компрессор достаточно медленно возвращает сигнал "на круги своя", к начальному уровню усиления, что на порядок снизит затухание и сделает более громкими хвосты звука.

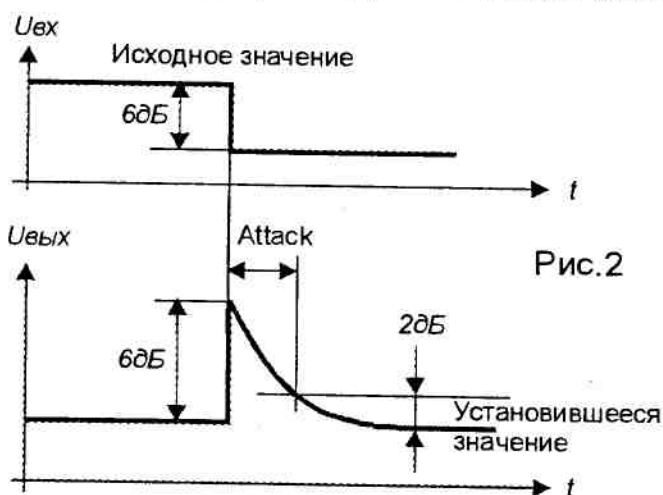


Рис.2

Последним в пятерке идет регулятор выходного уровня компрессора. Его часто называют — **восстановитель сигнала (make-up gain)**. Такое название обуславливается тем, что, благодаря этому регулятору, можно компенсировать погашенное компрессором усиление входного сигнала. Чаще всего, с помощью регулятора выходного уровня поднимается уровень сигнала до первоначального

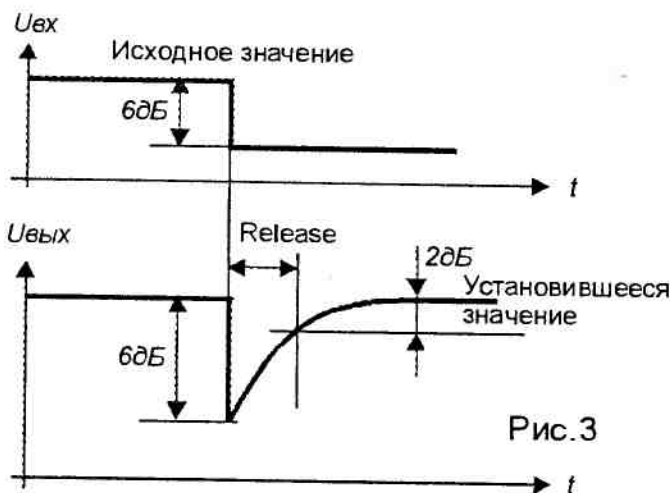


Рис.3

значения. Собственно говоря, добавляется новый усилительный каскад между сигналами, что значительно упрощает сравнение двух сигналов с помощью переключения компрессора в режим "bypass", и обеспечивает требуемый уровень сигнала при свертке. Первые две величины отражены на графике компрессии, рис.1.

На этом рисунке по горизонтали показано входное напряжение компрессора, выраженное в децибелах, по вертикали – выходное, а жирная 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.

Итак, подытожим пятерочку, выделив из нее основную тройку.

*Степень компрессии (Ratio)* – это отношение величины приращения входного сигнала к величине вызванного им приращения выходного сигнала. Измеряемые величины выражаются в дБ.

$$\text{Ratio} = \Delta U_{\text{вх}} / \Delta U_{\text{вых.}}$$

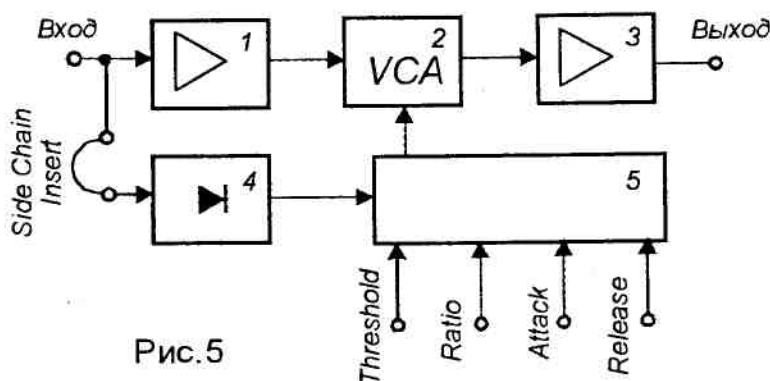
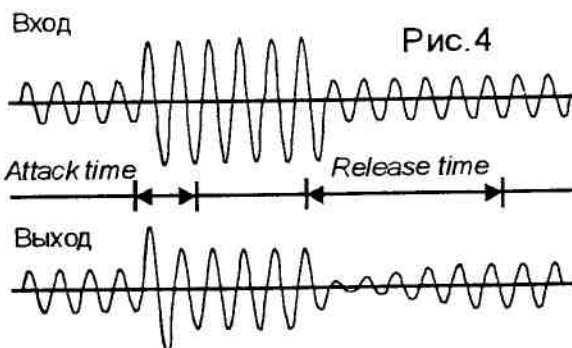
Динамические характеристики компрессора определяются временами срабатывания (Attack) и восстановления (Release).

*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.

*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. Временная иллюстрация приводится на рис.4

Естественно, что все 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.5. Последняя в англоязычной литературе носит название "Side chain".

В состав звукового тракта входят: входной и выходной усилители (1 и 3, соответственно) и элемент, изменяющий коэффициент усиления звукового сигнала, например, управляемый усилитель VCA (2). Канал 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, в том числе управление степенью компрессии и порогом срабатывания.

Вглядитесь внимательнее в этот рисунок. Догадайтесь с одного раза, что там изображено и как называется. Правильно – таким образом выглядит построение систем под названием “APY вперед”. Кому удалось прочитать в “Альманахе” мою статью “APY – мифы и реальность”, смогут вспомнить, что это такое.

## КОМПРЕССОРЫ КАК УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ

Из всех процессов, используемых при обработке звука, компрессия сигнала является, пожалуй, наиболее сложным для восприятия. В первую очередь это связано с тем, что зачастую результат компрессорной обработки звука едва различим на слух – особенно для начинающих.

Другая трудность заключается в количестве изменяемых параметров компрессора, а их не так мало, как может показаться, и к тому же, изменение каждого из них не всегда приводит к очевидным результатам. То, что эти параметры взаимосвязаны между собой только ощутимо, осложняет ситуацию. Ну и, наконец, незнающего человека может просто-напросто сбить с толку потрясающее разнообразие видов и моделей компрессоров – ему придется изрядно поломать голову над выбором подходящего устройства, прежде чем выбрать нужный.

Вот самый, что ни на есть тривиальный пример – допустим, необходимо скомпрессировать свой сигнал. Что лучше выбрать? Компрессор на базе VCA (Voltage Control Amplifier – усилитель управляемый напряжением) или же на оптопаре? Транзисторный или ламповый, а может быть гибридный? Аналоговый или цифровой? Аппаратный компрессор, или же ограничиться программой, которая выполняет его функции? И так далее, и тому подобное.

С таким количеством возможных вариантов неудивительно, что компрессоры и компрессирование до сих пор остаются загадкой для многих. Однако, если принято серьезное решение поработать над своим сигналом и добиться определенных успехов в качестве, освоение навыков работы с компрессией просто необходимо. Более того, все основные направления обработки звука в той или иной степени напрямую связаны, именно, с компрессией. Например, произвести высококачественную запись на магнитный носитель без этого просто не получится.

*Существует непреложное правило:*

*“Если не умеете правильно пользоваться компрессором, вряд ли удастся достичь наилучшего звучания.”*

Как все-таки пройти через лабиринт всевозможных нюансов, возникающих при работе с компрессором и каковы особенности его практического применения? Начнем с основ компрессии сигнала и рассмотрим несколько примеров его применения, обратим внимание на некоторые особенности компрессора и узнаем, почему это так важно.

Компрессия характеризует динамический процесс. Термин динамический в звуковой среде означает изменение уровня громкости. Таким образом, динамический диапазон звука – это разница между его самым тихим и самым громким уровнями. Управление динамическим процессом, иначе говоря, сни-

жение или увеличение динамического диапазона звукового сигнала, собственно, и ведет к ограничению уровня громкости в пределах этого диапазона. К типам динамических процессоров относятся разнообразные устройства, например, экспандер, лимитер, гейт и другие, ну и, наконец, компрессор со всеми производными.

Компрессор — это тип динамического процессора, который как бы “стягивает” динамический диапазон сигнала, вследствие чего, уменьшается разница в уровне громкости между еле различимыми и “пиковыми” уровнями. Процесс снижения уровня громкости называется ослаблением усиления (gain reduction). Обладая достаточным опытом, с помощью этого процесса можно добиться на порядок более плотного звучания. По этой причине, компрессия является наилучшим средством для управления сигналами, уровень которых изменяется в широких пределах.

Сужая динамический диапазон, компрессор повышает средний уровень сигнала, не допуская искажений в самых громких его частях. В то же время, с помощью компрессии можно подтянуть по уровню самые тихие, почти неслышимые звуки. Но только “правильный” компрессор сделает их громче, чище и гораздо заметнее.

Конечно же, совершенно нежелательно, чтобы такие непреднамеренные нюансы, как дыхание или прочие “голосовые скрипучки” засоряли сигнал. Поэтому, прежде чем его компрессировать, стоит лишний раз убедиться в необходимости этого процесса. Ведь, в конце концов, результат компрессии должен звучать лучше, нежели оригинал. И никогда наоборот! А что мы слышим в своем эфире?

— А, ну, сравни... — Вот без компрессора... — А, вот с компрессором... — Ну-у-у, с компрессором громче на 10...15 децибел ...” — Знающий человек от этих рассуждений за голову схватится. Откуда столько...?

Лучше, когда существует возможность добавить компрессию в процессе работы и отключить ее, когда в ней нет необходимости. Перед использованием компрессор нужно протестировать во всех возможных его проявлениях прежде, чем “впихивать” в конкретное устройство. Необходимо учитывать, во-первых, скомпрессированный сигнал может нагляднее продемонстрировать допущенные ошибки, во-вторых, если вы обуздаете “скачущий” уровень сигнала еще до модулятора, то это избавит вас от подобных проблем при дальнейших преобразованиях сигнала по тракту передачи.

Тем, кто занимается цифровыми преобразованиями, компрессия позволит повысить качество кодирования сигнала — так как для “сжатого” сигнала необходимо большее число битов, в результате достигается более высокое цифровое разрешение. Вдобавок, избавляясь с помощью компрессора от нежелательных пиков, удастся избежать цифрового “клиппирования” чрезмерно громких звуков.

Тем же, кто предпочитает аналоговую обработку, компрессор поможет достичь на порядок большего отношения сигнал/шум, повышая общий уровень сигнала. Но только в случае правильного подхода к этому устройству!

### Некоторые тонкости и нюансы

Кроме сглаживания “неровностей” сигнала, повышения цифрового разрешения и соотношения сигнал/шум у компрессора есть несколько сугубо “творческих” областей применения. Например, компрессор может разительно из-





менить огибающую (envelope) звука. С помощью подобных трюков можно добавить острую атаку тускло звучащему голосу, заставить среднеуровневые голоса звучать более напористо, и даже придать такому голосу нехарактерную ему жесткость.

Говоря условно, компрессор – это автоматический регулятор громкости. Громкости, а не усиления! Но уловить эту разницу довольно сложно. До появления первых компрессоров, приходилось вручную управлять уровнем сигнала, то есть, манипулировать ручкой “gain”, если таковая имелаась. Почему условно? Потому, что компрессор не только управляет громкостью, он может еще настраиваться на сопутствующие этому операции. Компрессор управляет уровнем громкости сигнала с такой скоростью и точностью, какие не под силу ни одному, даже самому, что ни на есть профессиональному звукооператору. Компрессор поистине молниеносен. И к тому же, с помощью всего нескольких движений его можно быстро “научить”, когда надо повысить, а когда понизить уровень громкости.

В зависимости от настроек, компрессор может подавлять как мгновенные “всплески” – короткие, максимальные по громкости части сигнала, так и сигналы средней длительности, а иногда и те, и другие. Конечно, при отслеживании голоса, динамический диапазон которого значительно ниже, чем у музыкальных инструментов, такое многообразие операций может и не потребуются. За исключением может быть голоса, создающего относительно протяженное звучание, максимальное значение которого лежит чуть выше среднего уровня.

Число регулировок компрессора варьируется в зависимости от конструкции, цены и прочих факторов. Например, компрессоры, собранные на базе VCA имеют, по меньшей мере, пять изменяемых параметров (помните про пятерочку). Более усовершенствованные модели содержат вдвое большее количество регулировок, в то время как у большинства компрессоров на оптопарах есть всего лишь две ручки.

Отсутствие у компрессора большого количества регуляторов еще не говорит о его несовершенстве: обычно это означает, что некоторые параметры (такие, как время атаки и восстановления) управляются автоматически, или же в одной ручке объединены сразу два параметра, например порог срабатывания и глубина компрессии. Важное правило:

*Перекомпрессированный сигнал исправить в дальнейшем невозможно!*

### **Хорошо это или плохо?**

Компрессор может улучшить и уплотнить сигнал в той же степени, что и ухудшить или же вовсе, уничтожить его, поэтому одной из самых полезных функций компрессора является режим “Bypass” (Обход), который позволяет сравнивать обработанный и “чистый” сигналы. Только после того, как сбалансировали входной и выходной уровни сигнала (а это действительно необходимо – чем громче звук, тем более плотным и объемным он кажется), переключаясь в режим “Bypass” и обратно можно судить о соответствии настроек задуманному эффекту. В идеальном случае “Bypass” должен блокировать как входную, так и выходную цепь компрессора, в этом случае сигнал поступает с входа непосредственно на выход, минуя при этом все промежуточные усилительные элементы.

Многие компрессоры также включают в себя регулятор входного уровня, однако, этот параметр является чрезмерным дополнением, если не сказать нежелательным. Дело в том, что компрессор с широким диапазоном порогового значения может "поймать" сигнал практически любого уровня. Поэтому, регулятор входного уровня сигнала необходим только в том случае, если пороговый "потолок" компрессора либо слишком велик, либо наоборот, слишком мал для того, чтобы "захватить" сигнал.

Например, если максимальное пороговое значение, которое можно установить, равно +2 дБ, а на компрессор подается сигнал с уровнем +12 дБ, будет компрессироваться почти весь сигнал до тех пор, пока каким-то образом не понизится входной уровень сигнала. Это одна из причин, по которой может понадобиться регулятор входного уровня. Если же напротив, порог компрессии нельзя опустить настолько, чтобы довольно тихий сигнал смог его пересечь, с помощью регулятора входного уровня можно усилить сигнал до необходимого значения.

### **Излом характеристики компрессии**

Помимо регуляторов и параметров, приведенных выше, в компрессорах существуют несколько более точных настроек, которые оказывают значительное влияние на его характеристики и звучание. Один из таких параметров, излом характеристики компрессии (Knee — колено), напрямую связан с пороговым значением компрессора. Излом характеристики определяет, насколько быстро и мягко компрессор будет переходить из состояния "бездействия" в режим максимального ослабления после того, как сигнал перейдет границу порогового значения. Чаще всего, характеристика компрессии в приборе имеет либо "мягкий" (soft knee), либо "крутой" (hard knee) излом, хотя некоторые компрессоры имеют переключатель (soft knee / hard knee) для разных режимов компрессии.

При характеристике с "крутым" изломом, сигнал подвергается максимальной компрессии непосредственно после того, как он минует границу порога. Такой режим пригоден для "лимитирования" пиков и для "очищения" голоса, поэтому при "крутом" изломе звучание может быть резким и обрывистым, особенно при высоком уровне компрессии.

Компрессор с "мягким" изломом начинает компрессировать сигнал по мере того, как его уровень приближается к пороговому значению, и постепенно увеличивает глубину компрессии до тех пор, пока сигнал не достигнет порога — в этой точке глубина компрессии будет соответствовать установленному значению. "Мягкая" компрессия в силу своей "плавности" или "непринужденности" делает звук более прозрачным (менее заметным), нежели при "крутом" изломе, и является предпочтительной для большого числа голосов.

### **Компрессор — лимитер. Два — не один.**

Существует мнение, что при глубине компрессии 10:1 компрессор может выполнять функции лимитера, но следует заметить, это не совсем так. На самом деле, схемы детекторов компрессора и лимитера довольно сильно отличаются друг от друга по конструкции. Детектор компрессора специально рассчитан на то, чтобы определять средние по длительности (RMS) сигналы, а не мгновенные, переходные пиковые значения. Поэтому, мгновенные пики почти всегда "пробивают" порог компрессора, вне зависимости от



глубины компрессии и времени атаки. Настоящий же лимитер, напротив, оснащен детектором с хорошим откликом на пиковые значения, и поэтому "реагирует" значительно быстрее.

Несмотря на то, что все компрессоры оснащены RMS-детекторами, чувствительные элементы разных моделей могут значительно отличаться по времени отклика. Это значит, что разные компрессоры с одними и теми же настройками могут абсолютно по-разному реагировать на один и тот же сигнал. Это одна из причин, по которой трудно дать какой-либо конкретный совет относительно настроек компрессора под различные голоса или музыкальные инструменты.

### Управление компрессором

В каждом компрессоре есть управляющая цепь, которая как бы "видит", когда сигнал переходит через пороговое значение, и указывает управляющему элементу компрессора, когда и насколько нужно ослабить уровень этого сигнала. Управляющая цепь не входит в звуковой тракт компрессора; попросту говоря, это своего рода постовой-регулировщик, "командующий" компрессором. Схемы для порогового значения, глубины компрессии, времени атаки и восстановления также входят в управляющую цепь.

Чаще всего, на задней панели полноценного компрессора (промышленного) есть отдельный вход для управляющей цепи. Управляющая цепь находится в компрессоре непосредственно перед детектором, который, являясь продолжением управляющей цепи, также лежит вне звукового тракта и не оказывает никакого влияния на звук. Таким образом, с помощью входа управляющей цепи можно контролировать сигнал до того, как он попадет на детектор компрессора. Благодаря этому, довольно просто произвести "очистку" голоса (de-essing, de-popping) и прочие частотно-зависимые коррективы.

Например, чтобы очистить голос от шипящих и свистящих, для начала нужно подать сигнал на эквалайзер и снять его с эквалайзера, соответственно. Поднять на эквалайзере высокие частоты, прибрать низы и середину – теперь детектор компрессора определит голос как чрезмерно высокий. Как только появится свист, чувствительный элемент детектора "воспримет" его громче, чем он есть на самом деле, и компрессор стремительно снизит усиление сигнала. При времени атаки порядка 50 мкс и времени восстановления между 50 и 60 мс, компрессор должен мгновенно погасить шипящие звуки, при этом оставив незатронутым основной голос. Несомненно, что порог срабатывания в этом случае должен быть установлен надлежащим образом – чуть выше среднего уровня громкости говорящего.

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 исход-



ного звучания. За рубежом такой тип компрессоров часто называется "Creative – творческий".

Пользователю для работы необходима достаточно высокая квалификация, так как вместо улучшения звука его можно непоправимо испортить (что, к сожалению, часто и происходит в примитивных любительских устройствах! Не раз в эфире доводилось слышать примерно следующее — *"...Я тут себе компрессор сделал... на пять метров отойдешь, а стрелка, как вкопанная..."*

### Частоты и компрессия

Многие часто путают друг с другом частотно-зависимую и многополосную компрессию. Но это два совершенно разных типа приборов. Многополосный компрессор делит сигнал на две или более полос частот, таким образом, каждый частотный диапазон сигнала компрессируется индивидуальным компрессором (у каждого – свои регуляторы). Это позволяет компрессировать, например, низы сигнала отдельно от верхов. А подобные эффекты достигаются с применением специальных устройств – многополосных эквалайзеров или кроссоверов. *(Об этом обязательно поговорим в другой раз. Подобное также требует довольно тщательного осмысления, т.к. эквалайзеры предоставляют очень широкие возможности, расширяющие обработку сигнала в передающей аппаратуре).*

Прибор же с частотно-зависимой компрессией является широкополосным устройством, воздействующим на весь спектр сигнала. Он отличается от обычного компрессора тем, что его детектор приводится в действие сигналом с особо установленными пользователем частотами.

### Видовые различия

Существуют несколько различных видов компрессоров. Из аналоговых компрессоров известны четыре типа, каждый из которых зависит от типа управляющего элемента. Они подразделяются на четыре категории: оптоэлектронные, ламповые, на базе VCA и на полевых транзисторах. Более подробно о разных видах компрессоров можно будет прочитать в будущей брошюре, а поскольку у каждого вида есть свои достоинства и недостатки, там же приводятся особенности их конструкций и возможных настроек.

### Левеллер и Лимитер

В отдельную группу можно выделить левеллеры (Level – уровень). Коэффициент передачи такого регулятора изменяется медленно, скорость лежит в пределах 0,3...3 дБ/с. Медленное изменение уровня практически незаметно на слух, то есть не создает заметных искажений. Воспринимаемый на слух динамический диапазон сигнала при включении в тракт левеллера практически не изменяется. Если продолжительность тихого звукового фрагмента составляет, например, одну секунду, то слух успеет отметить снижение уровня, а отреагировать на такое быстрое изменение уровня левеллер не успевает.

Основное назначение левеллера стабилизация среднего значения уровня сигнала, что позволяет уменьшить искажения при дальнейшей обработке, прежде всего, сжатии динамического диапазона, то есть при компрессировании. Заметных искажений в сигнал он не вносит.



Левелер – одна из разновидностей RMS-компрессора. Основное его отличие от обычного RMS – гораздо большие постоянные времени детектора: до 10 секунд в некоторых моделях. Кроме того, они имеют несколько иную проходимую характеристику. В семействе проходных характеристик левеллера при различных значениях Ratio сигнал независимо от Ratio 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 больше Ratio, тем сильнее сигналы “прижимаются” к уровню 0 дБ (уровень 0 дБ здесь приведен только для примера, на самом деле он регулируется в некоторых границах). В реальных устройствах имеется регулятор “установщик уровня”, к которому должны “подтягиваться” сигналы.

Эти два устройства в одном, как нельзя кстати, подходят для наших целей. Первый, практически, не влияет на пиковые уровни сигнала, но зато поддерживает его средний уровень. “Левеллер” в переводе означает “регулирующий уровень”, в отечественной терминологии его иногда называют “АРУР” – автоматическим регулятором уровня или АРУЗ (записи) в магнитофонах.

“Лимитер”, в переводе звучит как ограничитель (to limit), но он не просто “отрезает” в сигнале все, превышающее некий пороговый уровень, а не искажая сигнал подтягивает к установленному порогу все, что начинает его превышать! “Лимитер” незаменим в тех случаях, когда сигнал пропускается через тракты с ограниченным динамическим интервалом. Типичный пример применения – радиовещание или запись на цифровые магнитофоны. Даже у современных радиопередатчиков динамический интервал недостаточно большой. Рекомендую внимательно приглядеться к этому прибору, считаю его наиболее вписывающимся в тракт формирования SSB сигнала.

Лимитер в принципе, не какой-то отдельный вид компрессора, а всего лишь один из частных случаев его работы. Лимитирование или ограничение отличается от компрессирования, прежде всего степенью компрессии Ratio. Для лимитирования достаточно перевести этот регулятор в положение Ratio = 10:1, тогда независимо от приращения входного сигнала уровень сигнала на его выходе увеличиваться не будет. *(Естественно, речь идет о сигналах, лежащих выше порога срабатывания!)* Но и здесь есть одна тонкость.

Дело в том, что основное предназначение лимитера – защита последующих узлов тракта от перегрузок. От любых, даже от 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 40 дБ! 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 “жуется”...

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 большого 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.

### Де-эссер и де-поппер

Это варианты частотно-зависимого компрессора, а точнее – полосового компрессора. Почему полосового? Настоящий де-эссер (и, соответственно, де-поппер) обрабатывает только узкую полосу выделенного спектра частот, не затрагивая остального сигнала. Обычный компрессор в режиме де-эссера, с фильтром-эквалайзером в цепи управления, обрабатывает всю полосу частот входного сигнала. Но он наиболее 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, кроме...

Основное 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. Оба этих компрессора постоянно анализируют спектр входного сигнала, и, если “видят”, что уровень сигнала в установленной полосе превышает допустимое соотношение его и “всего остального”, то они уменьшают уровень сигналов в этой полосе до допустимой (установленной пользователем) величины. Очень интересно для наших применений.

### А что дальше?

На этом можно и остановиться. Тема динамической обработки очень обширна. Более подробно познакомиться с устройствами динамической, частотно-зависимой и временной обработками звука применительно к любительской радиосвязи, и большим числом примеров практической реализации можно будет в моих двух брошюрах. Первая из них планируется к выходу в III квартале 2003 года, вторая выйдет несколько позже. Предварительные заказы на брошюры можно высылать по e-mail: [rw3ay@mail.ru](mailto:rw3ay@mail.ru) (в графе “тема” обязательно писать “обработка”, иначе письмо может не пройти – будет автоматически удалено). Можно и по почте с приложением возвратного конверта SASE. Как только брошюра будет готова – вышлю извещение.





При подготовке этой статьи использовались материалы из журнала "Звукорежиссер", официальные документы "Analog Device" и др.

Продолжение в следующем выпуске (Р-Д № 19).

Далее предлагаются несколько простых схем для самостоятельной сборки и изучения. Оставайтесь с нами, не пожалеете. Вам предстоит познакомиться с малоизвестными вариациями на интересующую тему.

## Микрофонный усилитель с АРУ

В качестве микрофонного усилителя приводится простенькая схема дифференциального каскада на операционном усилителе. Много говорить о преимуществах, именно, такого включения нет необходимости. Они общеизвестны. На мой взгляд, это наиболее подходящий способ для наших трансиверов любой степени сложности. Используя дифференциальное включение микрофона, получаешь только положительный эффект. Отрицательных сторон у такого включения просто нет. Схемы самих усилителей, как и любая другая схемотехника достаточно разнообразны.

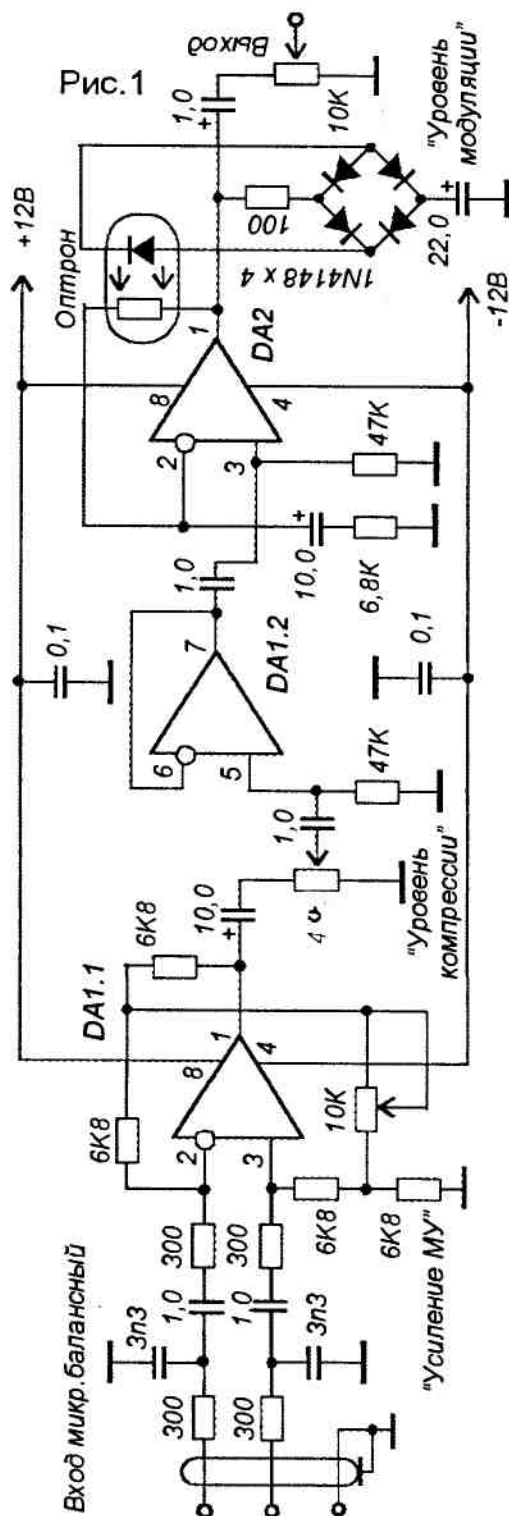
Соединительный микрофонный шнур должен быть сделан из двух, слегка скрученных проводов в экранирующей чулке (есть готовые провода, и они вполне доступны).

Схема на рис. 1 скомпонована из двух схем, взятых из двух разных источников. Собственно, микрофонный усилитель на DA1.1 с регулировкой усиления собран по дифференциальной схеме и взят от несложного звукового режиссерского пульта. Он дополнен схемой "оптического" НЧ компрессора, предложенного английским радиолюбителем G3YXM, которую при ненадобности можно исключить. Если обнаружатся ошибки, то общими усилиями мы их устраним.

В схему микрофонного усилителя введены три отдельные регулировки:

**РАЗРАБОТЧИКУ  
НА ЗАМЕТКУ**

«Усиление»,  
«Уровень компрессии» и  
«Уровень модуляции», позво-



Переменные резисторы с логарифмической характеристикой  
Компрессор - схема G3YXM

DA1, 2 - NE5532 ИЛИ TL072  
Диоды 1N4148 x 4 шт

MAVERICK SCAN

"Р-Д" №18



Если внимательно присмотреться, то можно обнаружить, что она способна работать в двух режимах. Когда переключатель S1 находится в левом по-

ложении, то имеем обычный усилитель низкой частоты с ручной регулировкой усиления, если же его перевести в правое положение, то образуется усилитель с АРУ или, если желаете, назовите его компрессором.

Резистором 220 Ом устанавливается время срабатывания, как уверяет сопровождающий текст, около 1 мс, а потенциометром 100 кОм регулируется время удержания вплоть до 0,5 с. А названия "Attack" и "Reliase" наши "старые знакомые". Можно и даже нужно применять современные детали, поэтому не привожу цоколевки микросхем. Кто чем располагает, то и можно применять – диапазон ОУ довольно широк, но лучше все-таки малошумящие.

## Идеяка со стажем! Схема нам уже знакомая

В предыдущем выпуске "Р-Д" №17 на стр.19 приводился микрофонный усилитель с АРУ на микросхеме фирмы "Analog Device" SSM2165, который неплохо вписывается в общую схему изложения. Кстати, если возникнут трудности с распайкой планарного корпуса, то можно приобрести функциональный аналог, также с встроенным шумоподавителем и лимитером – SSM2167.

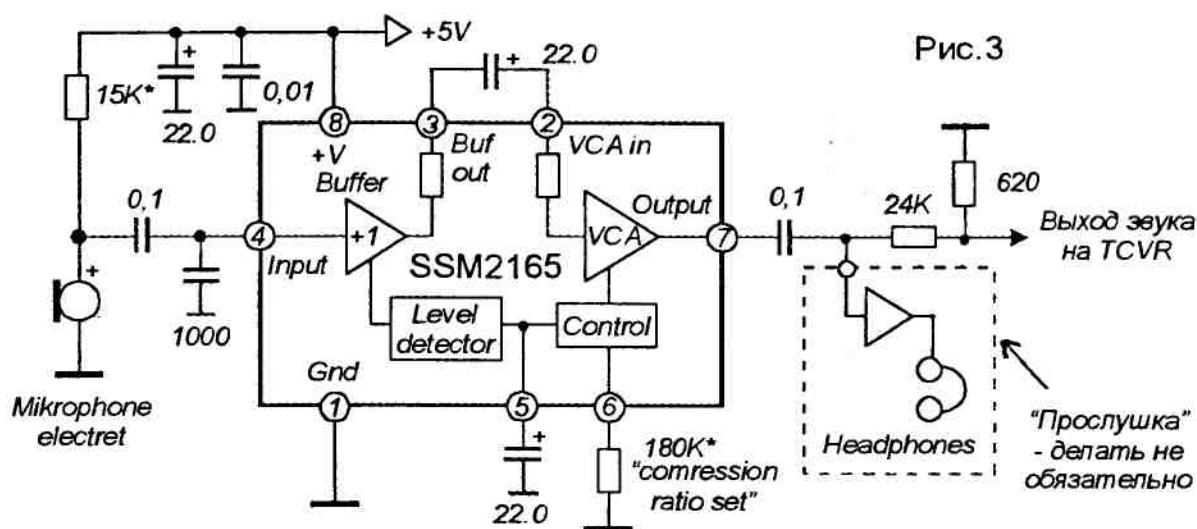


Рис.3

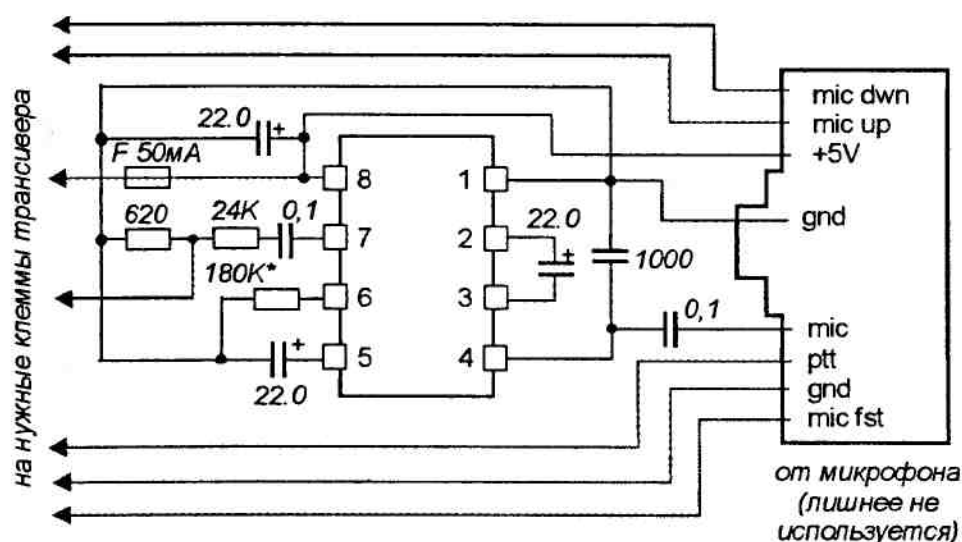


Схема подключения к трансиверу (в общем виде)



Она упакована в 10-выводный корпус, правда, рассчитана на напряжение +3В (максимально допустимое +6В), и имеет несколько заниженные выходные параметры (лимитер не регулируемый).

Фирма "Analog Device" освоила выпуск довольно внушительного перечня микросхем для создания микрофонных усилителей высокого качества от отдельных маломощных операционных и инструментальных усилителей до высоко интегрированных систем динамической и частотной обработки звука.

Микросхему SSM2165 применил А.Першин (RV3AE) в своем модернизированном УРАЛ'е. По его словам он очень доволен ее работой.

Спустя некоторое время я обнаружил еще один вариант использования SSM2165 в качестве микрофонного "спич-процессора" для трансивера FT-817. Схема включения, рис.3, мало чем отличается от приводимой в предыдущем Р-Д. Она дополнена лишь схемой соединений. Ее предложил Phil Salas (AD5X), и ему удалось даже сделать миниатюрную плату (2,5 x 3,5 см), встраиваемую внутрь этого маленького трансивера. Кстати, по его же словам этот процессор можно рекомендовать для любого трансивера, как самодельного, так и промышленного, где отсутствует какой-либо намек на компрессию микрофонного сигнала. Свой "процессор" он использует совместно с малогабаритной компьютерной гарнитурой.

Несмотря на наличие в старых трансиверах, так называемых "спич-процессоров", этот компрессор все равно будет полезен. Он с успехом подойдет к трансиверам старых серий или более "свежим" автомобильным трансиверам, где этот режим иногда попросту отсутствует. Да, и к любому другому, где требуется обеспечить правильную компрессию. Описывать работу этого компрессора нет необходимости и выше приводится несколько модернизированный вариант включения. "Спич-процессор" обеспечивает вполне приличную компрессию речевого сигнала.

Схема соединений дана в общем виде применительно к любому микрофону и трансиверу, выбор необходимых соединений под конкретную конструкцию нужно сделать самостоятельно. Хочу отметить, что микросхему SSM2165 можно использовать и для более сложных включений и реализации дополнительных режимов обработки, но лучше для этого подходит другая микросхема той же фирмы (Analog device).

### Полный компрессор+лимитер на SSM2166.

Я рекомендую обратить внимание на более интересную, но и более сложную микросхему SSM2166. Это пока еще новинка в нашем деле, несмотря на то, что первые сведения о ней появились еще 1997 году. RA4CFP сообщил, что несколько молодых саратовских ребят довольно успешно "пользуют" ее в своих конструкциях.

Внутренняя структура SSM2166 позволяет реализовать устройство, отчасти попадающее под название "левеллер". Помните – "компрессор + лимитер"? Да, именно, так – два в одном. Помимо уровня компрессии можно установить необходимый уровень выходного сигнала, который и будет поддерживаться. Фирменная инструкция регламентирует установку выходного уровня 500 мВ. Иначе говоря, до достижения этого уровня входной сигнал компрессируется, а все что выше – лимитируется.

Напомню, что лимитировать и ограничивать – это далеко не одно и то же,



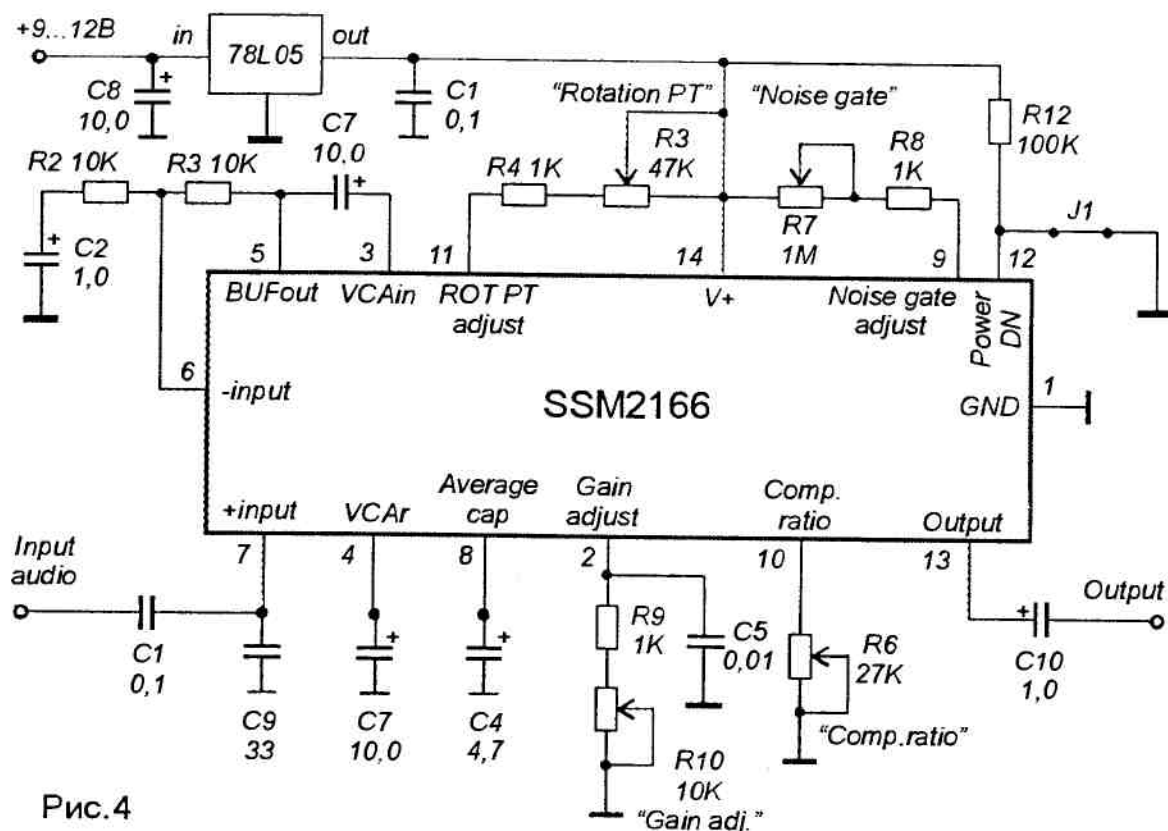


Рис.4

как говорят в Одессе – “две большие разницы”. Еще раз стоит напомнить, что лимитировать значит поддерживать неизменным выходной уровень сигнала без вмешательства в качество самого сигнала. После такой обработки практически полностью отсутствуют продукты, свойственные обычным ограничителям, последующая фильтрация не требуется. Наряду с этими полезными режимами в микросхеме имеется весьма эффективный пороговый шумоподаватель и реализуется некий эффект под названием “Rotation PT”.

Почему он называется именно так, не знаю, ранее не встречал. Но можно утвердительно сказать, что “Rotation PT” ничто иное, как “Уровень лимитирования”. Иначе говоря, на выходной характеристике выбирается точка, относительно которой осуществляется поддержание неизменным выходного уровня. Обратили внимание, что прочитав внимательно с десятка предыдущих страниц становится понятным о чем идет речь.

Ниже приводится упрощенный график, рис.5, из которого все станет более или менее понятным. Он лишь в общих чертах дает представление о процессе работы, в противном случае пришлось бы привести более десятка кривых, раскрывающих секреты этой современной микросхемы.

Микросхема рассчитана на

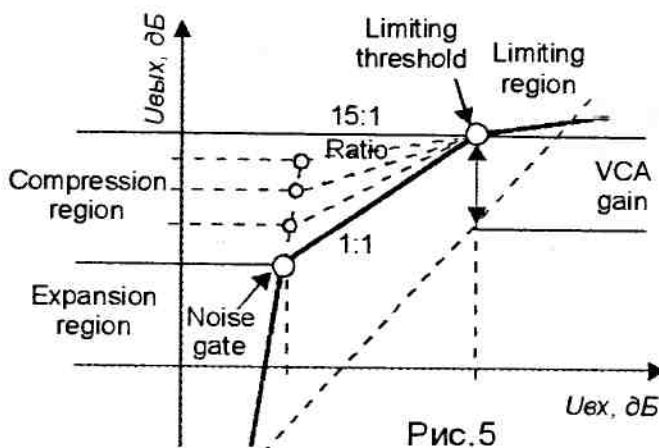


Рис.5

максимально возможное напряжение питания +10В (конт.14), но большая часть материалов инструкции по ее применению ссылается на питание от источника +5В. Несмотря на внушительный перечень возможных применений, основное назначение SSM2166 (как и SSM2165) – микрофонный усилитель в компьютерных Sound cards.

Обратите внимание на переключку J1, замыкающую вывод 12 (Power Dn) на общий провод. При положительном потенциале на этом выводе происходит блокирование микросхемы и выходной сигнал пропадает.

Компрессирование осуществляется быстродействующим VCA с детектором среднеквадратичного значения (RMS). Величина конденсатора С4 подходит для большинства применений, но ее можно увеличить вдвое, если будет замечено, что выходной сигнал сильно накачан и "задыхается" (pumping and dumping). Исправить которые способен "de-popper", помните?

Компрессор SSM2166 обеспечивает управление четырьмя основными функциями: регулировкой усиления (Gain), установкой необходимого коэффициента сжатия (Ratio), подбором порога шумоподавления (NG) и установкой, поддерживаемого неизменным, выходного уровня ("Rotation PT") в точности, как уверяет фирменная инструкция по применению этой микросхемы. Описание работы и тестирования этой микросхемы в сопроводительных документах производителя занимает 16 страниц, по этой причине привести все полностью не представляется возможным.

В данном случае дается намек заинтересованному разработчику, что можно сделать, зная и понимая процессы, происходящие в том или ином узле. Вышеприведенная схема включения предназначена для общего случая, поэтому какие-то дополнения и преобразования возможно придется сделать самостоятельно. Эта схема самодостаточна и хорошо работает с электретным микрофоном. Диапазон входного сигнала на частоте 1 кГц находится в пределах от 1,5 до 15 мВ. Выходной сигнал не превышает 500 мВ, при больших значениях увеличиваются нелинейные искажения. Следует учитывать, что выходной сигнал зависит от величины Ratio. Используя микрофонные усилители "Analog device" в составе передающей аппаратуры, необходимо усложнить входную цепь с целью защиты от ВЧ наводок.

*А.Першин (RV3AE) провел испытание и этой микросхемы и полностью удостоверился не только в ее работоспособности, но и высочайших выходных параметрах.*

Как видите, мне частично удалось сдержать обещание, данное в предыдущем выпуске в отношении того, что современное Home Audio содержит много интересного для домашнего Ham radio. Извините за то, что эта статья отняла у Вас много времени. Мне понятны позывы многих людей читать только про "хвостатые РА", и антенные "пропеллеры". Многим до сих пор не дают покоя, набившие оскомину примитивы, но технический прогресс остановить невозможно. Поэтому отправляю в самое начало статьи, где объяснил причину, по которой мне пришлось это сделать. Конечно, это лишь малая толика необходимых знаний, но и этого уже достаточно, чтобы более ответственно относиться к самодельным конструкциям.

Напоминаю, что более подробно о способах динамической обработки звука можно будет прочитать в готовящейся к выходу в этом году моей брошюре "Компрессия против ограничения". По всей видимости это будут все-таки





две брошюры примерно по 100...120 страниц каждая, которые появятся с некоторым интервалом по времени. Первая планируется на третий квартал этого года. Вторая будет посвящена микрофонным усилителям и "Частотной обработке звука" и появится несколько позже. Как и все мои "произведения", брошюры будут содержать много примеров схемных реализаций, на любой вкус, от примитивных до не очень сложных, но достаточно современных конструкций, чтобы идти "в ногу со временем." Небольшие отрывки из этих двух книжек можно будет прочитать на страницах последующих выпусков "Р-Д".

В следующий раз я собираюсь рассказать об эквалайзерах и, в частности, о кроссовере (crossover) с неизменной фазовой характеристикой. Его основное предназначение разделять широкий спектр звукового сигнала на ряд независимых составляющих – звуковых полос при создании многополосных акустических систем (НЧ, СЧ и ВЧ). По своей классификации кроссоверы многообразны – от простых пассивных двухполосных до очень сложных активных многополосных систем. Я же предлагаю использовать кроссовер, как элемент речевого процессора с частотным разделением каналов и последующей компрессией.

Обещаю, что и об этих, знакомых в общих чертах устройствах, предстоит узнать много нового и интересного. Вместе с Вами мы определим, где их лучше применять, исходя из параметров нашего приема-передающего тракта.

Желающие подискутировать по подобной тематике не только в эфире, а и на страницах "Р-Д", могут присылать свои конструкции для публикации (и не только по этой тематике!). До скорой встречи.

## ДЕТЕКТОР АРУ

*Г.Аглодин 392032, г. Тамбов*

Детекторы АРУ в основном строятся на основе амплитудных или пиковых выпрямителей [1, 2, 3]. При выпрямлении аналогового сигнала понимается нелинейная операция над ним, при которой все текущие значения на выходе схемы выпрямителя при одной из его полярностей воспроизводятся без искажений, а при другой – не воспроизводятся вообще, т.е. отсекаются.

Реальные схемы различных выпрямителей указанными свойствами не обладают. Они способны выпрямлять лишь сигналы относительно большого уровня,  $U_{вх\text{дет}} > 1\text{В}$ , связано это с тем, что область перехода из состояния высокого сопротивления в низкое имеет вид плавно изменяющейся функции, чаще всего  $e^x$ .

Свойствами эффективного (с малой ошибкой) выпрямления сигналов малого уровня обладают схемы, организованные на основе ОУ (прецизионные выпрямители). Схема простейшего пикового выпрямителя приведена на рис. 1.

Рассмотрим ее работу. При положительных значениях входного сигнала, напряжение на выходе ОУ (точка б) так же положительно, в результате диод VD открыт, его динамическое сопротивление мало и в схеме действует ОС (R1 и R2). В этих условиях инвертирующий вход ОУ (точка а) следит за входным сигналом. При этом выполняются следующие соотношения:

$$U_a = U_{вх}, \quad i_{R1} = i_{R2} = i.$$

Из этого следует, что  $U_{вых} = i \times (R1+R2) = U_{вх} \times (1+R2/$

**НАШ  
"ЛИКБЕЗ"**