



Перегрузка усилителей мощности и ее влияние на надежность акустических систем

Перегрузка усилителей мощности
и ее влияние на надежность
акустических систем

ЗАЧЕМ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯМ НУЖНА ЗАЩИТА

ТЕОРИЯ ГАРМОНИК

АМПЛИТУДНОЕ СЖАТИЕ

Что делать?

Перегрузка (клипирование) усилителей мощности - обычное явление. В данной статье рассматривается перегрузка, вызванная повышенным уровнем входного сигнала, в результате которой происходит ограничение выходного сигнала.

Проанализировав «феномен» такого рода перегрузки, который якобы является причиной повреждения АС, мы постараемся доказать, что истинный виновник этого - амплитудное сжатие (компрессия) сигнала.

ЗАЧЕМ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯМ НУЖНА ЗАЩИТА?

Все головки громкоговорителей имеют предельную рабочую мощность. Превышение этой мощности приводит к повреждению громкоговорителей (ГГ). Эти повреждения можно разделить на несколько видов. Рассмотрим подробнее два из них.

Первый вид - чрезмерное смещение диффузора ГГ. Диффузор ГГ - это излучающая поверхность, перемещающаяся в результате подаваемого электрического сигнала. Эта поверхность может иметь коническую, купольную или плоскую форму. Колебания диффузора возбуждают колебания воздушной среды и излучают звук. Согласно законам физики для более громкого звучания или воспроизведения более низких частот диффузор должен совершать колебания с большей амплитудой смещения, приближаясь при этом к своим механическим границам. Если его заставить сместиться еще дальше, то это приведет к чрезмерному отклонению. Чаще всего это происходит с низкочастотными ГГ, хотя это может произойти и со среднечастотными, и даже с высокочастотными ГГ (если не достаточно ограничить низкие частоты). Таким образом, чрезмерное смещение диффузора чаще всего и приводит к механическому повреждению головки.

Второй враг ГГ – это тепловая энергия, возникающая в результате тепловых потерь в звуковых катушках. Ни одно устройство не имеет 100% КПД. Что касается ГГ, то 1 Вт входной мощности не преобразовывается в 1 Вт акустической. Практически у большинства ГГ КПД менее 10%. Потери, обусловленные низким КПД, трансформируются в нагрев звуковых катушек, вызывая их механическую деформацию и потерю формы. Перегрев каркаса звуковых катушек вызывает ослабление его структуры, и даже полное разрушение. Кроме того, перегрев может вызвать вспенивание клея и его попадание в воздушный зазор, в результате чего звуковая катушка уже не сможет свободно перемещаться. В конце концов, обмотка звуковой катушки может просто перегореть как плавкая перемычка в предохранителе. Совершенно очевидно, что этого допустить нельзя.

Для пользователей и разработчиков всегда серьезной проблемой было определение допустимой мощности многополосных АС. Пользователи, меняющие поврежденные высокочастотные динамики, чаще всего

убеждены в том, - что в случившемся их вины нет. Казалось бы - выходная мощность усилителя 50 Вт, а мощность АС 200 Вт, и, тем не менее, высокочастотный динамик через какое-то время выходит из строя. Данная проблема вынудила инженеров разбираться в том, почему же так происходит. Было выдвинуто много теорий. Одни из них были научно подтверждены, другие так и остались в виде теории.

Рассмотрим несколько взглядов на ситуацию.

ТЕОРИЯ ГАРМОНИК

Исследования распределения энергии по спектру сигнала показали, что независимо от типа музыки уровень высокочастотной энергии в звуковом сигнале гораздо ниже уровня низкочастотной энергии. Этот факт еще больше усложняет выяснение того, почему же повреждаются высокочастотные динамики. Казалось бы, что если амплитуда высоких частот ниже, то повреждаться должны в первую очередь низкочастотные, а не высокочастотные динамики.

Изготовители АС при разработке своих изделий также пользуются этой информацией. Представление об энергетическом спектре музыки позволяет им существенно улучшить звучание высокочастотных динамиков путем использования более легких подвижных систем, а также применения в звуковых катушках более тонкого провода. В АС мощность высокочастотных динамиков обычно не превышает 1/10 общей мощности самой АС.

Но т.к. в низкочастотном (НЧ) диапазоне музыкальной энергии больше, чем в высокочастотном (ВЧ), - значит, вследствие своей маломощности, высокочастотная энергия не может послужить причиной повреждения высокочастотных динамиков. Следовательно, источник высоких частот, достаточно мощных для повреждения высокочастотных динамиков, находится где-то в другом месте. Так, где же все-таки он находится?

Было высказано предположение, что при наличии в звуковом сигнале НЧ составляющих, достаточных для перегрузки усилителя, вполне вероятно, что в результате ограничения выходного сигнала появляются достаточно мощные высокочастотные искажения, способные повредить высокочастотный динамик.

Эта теория получила достаточно широкое рас-

Таблица 1. Гармонические амплитуды 100 Гц меандра, 0дБ = 100 Вт

Гармоника	Амплитуда	Уровень в дВ	Уровень в Вт	Частота
1	1	0	100	100 Гц
2	0	-Т	0	200 Гц
3	1/3	-9.54	11.12	300 Гц
4	0	-Т	0	400 Гц
5	1/5	-13.98	4	500 Гц
6	0	-Т	0	600 Гц
7	1/7	-16.9	2.04	700 Гц
8	0	-Т	0	800 Гц
9	1/9	-19.1	1.23	900 Гц
10	0	-Т	0	1000 Гц
11	1/11	-20.8	0.83	1100 Гц
12	0	-Т	0	1200 Гц
13	1/13	-22.3	0.589	1300 Гц

пространение в начале 70-х годов и постепенно стала восприниматься как «догма». Однако, в результате исследований надежности и защищенности усилителей мощности в типичных условиях, а также практики эксплуатации усилителей и АС типичными пользователями, выяснилось, что перегрузка является обычным явлением и она не так заметна на слух, как об этом думает большинство людей. Срабатывание же индикаторов перегрузки усилителей обычно запаздывает и не всегда достаточно точно указывает на реальную перегрузку. К тому же, многие производители усилителей специально замедляют их срабатывание исходя из своих собственных представлений о том, сколько искажений должно возникнуть, чтобы засветился индикатор.

Более совершенные и лучше звучащие усилители, в т.ч. усилители с soft clipping (схемой “мягкого” ограничения) также повреждают высокочастотные динамики. Однако более мощные усилители повреждают высокочастотные динамики меньше. Эти факты еще больше укрепили теорию, исходя из которой, источником повреждения высокочастотных динамиков все же является перегрузка усилителя (клипирование). Казалось бы, вывод один - клипирование это и есть основная причина повреждение высокочастотных динамиков.

Но давайте продолжим исследование этого феномена.

АМПЛИТУДНОЕ СЖАТИЕ

При амплитудном ограничении синусоидального сигнала, усилитель вносит в исходный сигнал большие искажения, а форма полученного сигнала напоминает форму прямоугольника. При этом идеальный прямоугольник (меандр) имеет самый высокий уровень высших гармоник. (см. рис 1). Менее ограниченный синусоидальный сигнал имеет гармоники тех же частот, но с более низким уровнем.

Взгляните на представленный в Табл.1 спектральный состав прямоугольного сигнала частотой 100 Гц и мощностью 100 Вт.

Как Вы видите – мощность, попадающая на высокочастотный динамик после прохождения этого сигнала через идеальный кроссовер с частотой среза 1 кГц, составляет менее 2 Вт ($0.83 + 0.589 = 1.419$ Вт). Это немного. И не забывайте о том, что в данном случае имитируется жесткая, идеальная перегрузка 100-ваттного усилителя, способная превратить синус в меандр. Дальнейшее увеличение перегрузки уже не увеличит гармоник.

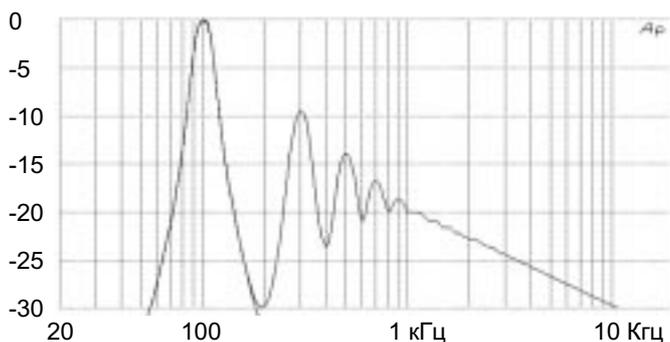


Рис. 1.

Гармонические составляющие 100 Гц меандра относительно 100 Гц синусоидального сигнала

Результаты данного анализа свидетельствуют о том, что даже если в 100Вт АС применяется слабенький высокочастотный динамик мощностью 5-10 Вт, то его повреждение гармониками невозможно, даже если сигнал примет форму меандра. Однако динамики все-таки повреждаются.

Значит нужно обнаружить еще что-то, что могло бы послужить причиной таких отказов. Так в чем же дело?

Причина - в амплитудном сжатии сигнала.

По сравнению со старыми моделями усилителей, современные высококачественные усилители имеют больший динамический диапазон и лучше звучат при перегрузках. Поэтому у пользователей больше соблазна перегружать усилители и вводить их в ограничение на низкочастотных динамических пиках, т.к. при этом не возникают большие слышимые искажения. Это приводит к сжатию динамических характеристик музыки. Громкость высоких частот увеличивается, а низких - нет. На слух это воспринимается как улучшение яркости звука. Некоторые могут интерпретировать это как увеличение громкости, не сопровождающееся изменением звукового баланса.

Например – будем увеличивать уровень сигнала на входе 100-ваттного усилителя. Низкочастотные составляющие будут ограничены на уровне 100 Вт в результате перегрузки. При дальнейшем увеличении входного уровня высокочастотные составляющие будут расти до тех пор, пока они также не достигнут точки ограничения в 100 Вт.

Посмотрите на рис. 2, 3 и 4. Графики проградуированы в вольтах. На 8-омной нагрузке 100 Вт соответствует напряжению 40В. До ограничения НЧ составляющие имеют мощность 100Вт (40В), а ВЧ - только 5-10Вт (9-13В).

Предположим, что музыкальный сигнал с НЧ и ВЧ составляющими подается на 100-ваттный усилитель (8 Ом). Используем смесь низкоуровневого ВЧ синусоидального сигнала с высокоуровневым НЧ сигналом (см. рис 2). Уровень ВЧ составляющих, подаваемых на высокочастотный динамик, по меньшей мере, на 10 дБ ниже уровня НЧ составляющих. Теперь увеличим громкость до ограничения сигнала (+3 дБ перегрузка, см. рис. 3). Обратите внимание на то, что, судя по форме сигнала, ограничены были только НЧ

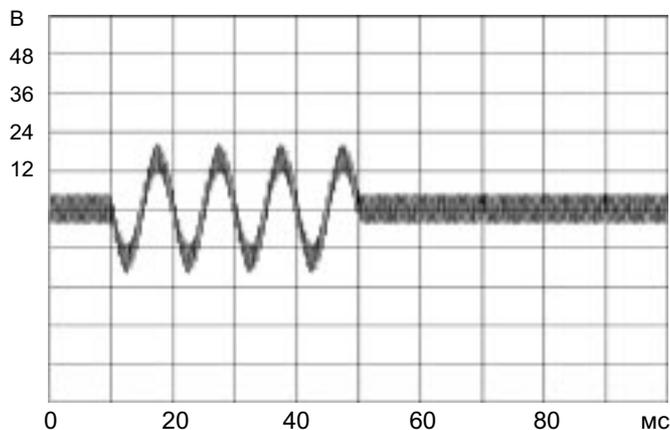


Рис. 2.

Низкоуровневый, высокочастотный синусоидальный сигнал, смешанный с всплеском высокоуровневого, низкочастотного синусоидального сигнала

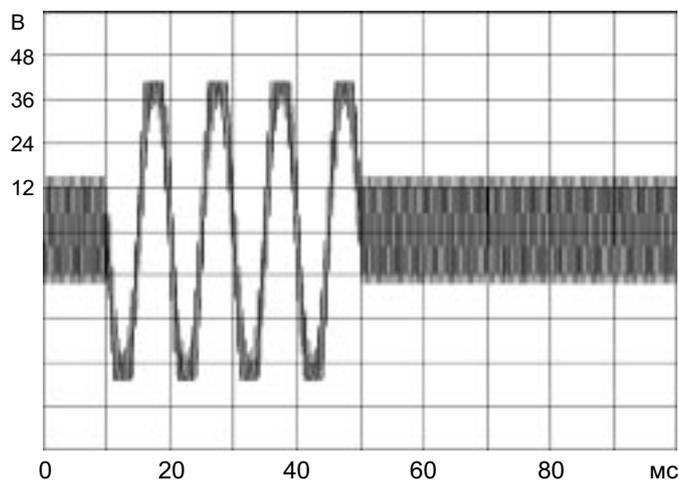


Рис. 3
Выходной сигнал 100-ваттного усилителя
с перегрузкой 3 дБ

составляющие, а уровень ВЧ составляющих просто вырос. Конечно же, клипирование генерирует гармоники, но их уровень существенно меньше, чем у рассмотренного нами ранее меандра. Амплитуда ВЧ составляющих выросла на 3 дБ по отношению НЧ (это эквивалентно амплитудному сжатию сигнала на 3 дБ).

При перегрузке усилителя на 10 дБ, амплитуда ВЧ составляющих возрастет на 10 дБ. Таким образом, каждое увеличение громкости на 1 дБ вызывает рост амплитуды ВЧ составляющих на 1 дБ. Рост будет продолжаться до тех пор, пока мощность ВЧ составляющих не достигнет 100Вт. Между тем, пиковый уровень НЧ составляющих не может превысить отметку 100Вт (см. рис. 4). Этот график соответствует почти 100 % сжатию, т.к. нет почти никакой разницы между ВЧ и НЧ составляющими.

Теперь легко заметить насколько мощность ВЧ сигнала превышает мощность 5-10-ваттного высокочастотного динамика. Действительно, перегрузка генерирует дополнительные гармоники, но они никогда не достигнут уровня усиленных исходных высокочастотных сигналов.

Вы, наверное, думаете, что искажение сигнала будет невыносимым. Не обманывайте себя. Вы будете поражены, узнав о том - насколько высок предел перегрузки, выше которого уже будет невозможно хоть что-то слушать. Просто отключите на усилителе индикатор перегрузки, и посмотрите - до какого уровня Вы повернете регулятор громкости усилителя. Если Вы измерите осциллографом уровень выходного сигнала усилителя – то уровень перегрузки удивит Вас. Уровень перегрузки 10 дБ по НЧ составляющим – это обычное явление.

ЧТО ДЕЛАТЬ?

Если мы сможем защитить усилители от перегрузки (клипирования), мы сможем рациональнее использовать АС. Для предотвращения перегрузки и результирующего амплитудного сжатия в любом современном усилителе должны применяться т.н. *clip*-лимитеры. Они предотвращают вышеупомянутое амплитудное сжатие, т.к. при достижении порогового значения на любой частоте, уровень всех частот понижается на одну и ту же величину.

Во внешних лимитерах порог срабатывания (threshold) задается пользователем. Точно настроить

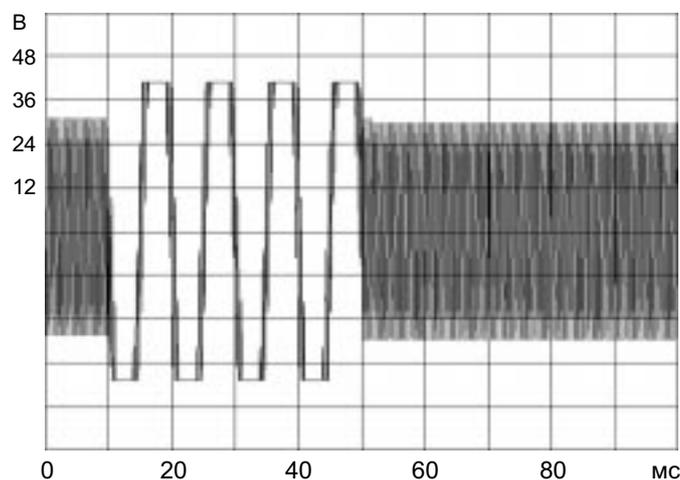


Рис. 4
Выходной сигнал 100-ваттного усилителя
с перегрузкой 10 дБ

этот порог на уровень ограничения усилителей достаточно сложно. К тому же уровень ограничения усилителей не есть постоянная величина. Он изменяется в зависимости от напряжения питающей сети, сопротивления АС и даже от характера сигнала. Порог срабатывания лимитера должен непрерывно отслеживать эти факторы. Самым правильным решением было бы привязать порог к сигналу перегрузки усилителя.

Вполне логично встроить лимитер внутрь усилителя. В современных усилителях несложно определить момент возникновения перегрузки с большой точностью. Именно на него и реагируют встраиваемые в усилители т.н. *clip*-лимитеры. Как только выходной сигнал усилителя достигает уровня перегрузки - цепь управления включает регулирующий элемент лимитера.

Второй параметр, после порога срабатывания, присущий любому лимитеру – времена срабатывания и отпускания. Более важным является время восстановления после перегрузки (release time).

Возможны два варианта эксплуатации усилителей:

- работа в составе многополосного усилительного комплекса,
- работа на широкополосную АС.

В первом случае на усилитель могут подаваться либо только НЧ полоса, либо СЧ и ВЧ полосы. При установке большого времени отпускания и работе усилителя в СЧ-ВЧ полосах “хвосты” восстановления лимитера могут быть заметны на слух. И, наоборот – при малом времени отпускания и работе в НЧ полосе могут возникать искажения формы сигнала.

При работе усилителя на широкополосную АС приходится искать какое-то компромиссное значение времени восстановления.

В связи с этим производители усилителей идут двумя путями – либо выбирается компромиссное время отпускания, либо вводится переключатель времени восстановления (SLOW-FAST).

Выводы:

Clip-лимитер должен являться неотъемлемым атрибутом любого современного профессионального усилителя мощности. Он позволяет повысить надежность и качество работы АС и усилительного комплекса в целом.