

# ЛИМИТЕРЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТРАКТАХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

## 1. Надежность громкоговорителей

Коэффициент полезного действия динамических громкоговорителей весьма низкий (обычно менее 5%) и основная часть подводимой к ним энергии преобразовывается в тепло. Хотя громкоговорители и рассчитаны на работу при температуре звуковой катушки до 200°C, тепло является главной причиной «выгорания» динамиков, и имеет другие значительные побочные эффекты, влияющие на качество звука и линейность системы.

Большинство проблем связаны с увеличением сопротивления провода при повышении температуры, но также существует проблема частичной деградации магнитного поля динамика при высоких температурах. Вот некоторые проблемы, связанные с температурой:

- ▶ Термокомпрессия
- ▶ Снижение эффективности
- ▶ Ухудшение демпфирования
- ▶ Потеря линейности

### 1.1 Термокомпрессия

Первая очевидная и хорошо известная проблема нагрева звуковых катушек – это возрастание ее сопротивления (Re). Этот эффект хорошо известен как термокомпрессия. Возрастание Re приводит также к росту электрической добротности динамика (Qes), что, в свою очередь, ощутимо влияет на эффективность динамика и настройку акустической системы.

Следует помнить, что при высокой температуре термокомпрессия может быть весьма высокой (4-5 дБ) и может привести, в худшем случае, к «выгоранию» динамика. В таблице приведена зависимость уровня термокомпрессии и эквивалентное последовательное сопротивление, добавленное к сопротивлению катушки громкоговорителя при разном уровне его загрузки по мощности.

| Средняя мощность / номинальная мощность | Термокомпрессия (dB) | Эквивалентное последовательное сопротивление для 8-омного динамика |
|---|----------------------|--|
| 10%                                     | 1.4                  | 1  |
| 20%                                     | 2                    | 1.4  |
| 50%                                     | 2.8                  | 2.1  |
| 100%                                    | 4.5                  | 3.8  |

С точки зрения конечного пользователя все эти эффекты приводят к уменьшению звукового давления (это особенно заметно в низкочастотном диапазоне). В результате этого пользователю приходится увеличивать уровень сигнала, подаваемого на динамик, что, в свою очередь приводит к еще большему выделению тепла и дальнейшему увеличению нагрева динамика.

Такая ситуация может либо очень быстро привести к разрушительному эффекту, особенно в маломощных системах, либо к равновесию, при котором динамик в течение многих часов работает при очень высокой температуре. Второй сценарий, хоть и не приводит к немедленному отказу, однако существенно уменьшает срок службы динамика.

Для того чтобы уменьшить и / или контролировать эти эффекты необходимо использовать лимитеры.

### 1.2 Лимитеры

Лимитирование в звуковых системах применяется для защиты громкоговорителей от перегрузки. Причем имеется ввиду не только защита от мгновенной перегрузки, но и обеспечение длительной безотказной работы.

Лимитеры защищают динамики от двух главных проблем:

– избыточного хода диффузора: большой уровень сигнала, подаваемый на динамик, может вызывать большое смещение звуковой катушки и ее работу за пределами магнитного зазора (когда смещение превышает  $X_{max}$ ), что может привести к повреждению подвижной системы громкоговорителя.

- перегрева: подача сигнала большой мощности может вызвать перегрев звуковой катушки и магнитной системы, что в результате может привести к повреждениям звуковой катушки (разрушение изоляции провода, сползание витков, деформация каркаса звуковой катушки и т. д..)

#### 1.2.1 Типы лимитеров

Для защиты динамиков применяют пиковый и RMS лимитер.

Пиковый лимитер (peak limiter) защищает динамик от механических повреждений. Он также может быть использован для предотвращения клиппирования усилителей. Уровень лимитирования нужно выбирать исходя из максимального смещения диффузора ( $X_{max}$ ) и допустимого напряжения (мощности) на динамике.

RMS-лимитер защищает динамик от повреждения (перегрева) при долговременной подаче избыточной мощности. Для настройки лимитера нужно знать максимальную долговременную мощность, которую можно подать

на динамик (AES power rating). Правильная настройка RMS лимитера позволяет не только снизить риск его повреждения от перегрева, но и минимизировать явление термокомпрессии.

Пиковый лимитер имеет всегда более высокие уровни настройки, чем RMS лимитер. Использование лишь одного пикового лимитера может не защитить динамики от повреждения. Рассмотрим это на примере.

Предположим нам нужно настроить лимитер для субвуферного динамика с параметрами:

- номинальное сопротивление – 8 Ом;
- программная мощность – 1000 Вт.

Для этого динамика допустимое пиковое напряжение составит около 126 В, но мы хотим работать безопасно и ограничим напряжение на уровне 100 В, что примерно на 2 дБ меньше, и поэтому получим пиковую мощность на динамике около 600 Вт.

Теперь предположим, что в по каким-то причинам звукооператор решает, что «низ» слабоват и начинает сильно увеличивать уровень низких частот.

При этом, если низкочастотный сигнал имел пик-фактор 6 дБ, то в результате повышения громкости начнет работать пик-лимитер и пик-фактор сигнала уменьшится, например, с 6 дБ до 3 дБ. К тому же на бóльшей громкости сильнее проявится явление термокомпрессии и для его компенсации звукорежиссер опять поднимет уровень сигнала. В итоге пик-фактор может упасть до уровня 1 дБ.

#### Зависимость RMS напряжения от пик-фактора

| Пик-фактор | Peak / RMS   | Peak Power | RMS Power |
|------------|--------------|------------|-----------|
| 6 dB       | 100 / 35 V   | 625 W      | 153 W     |
| 3 dB       | 100 / 49.5 V | 625 W      | 306 W     |
| 1 dB       | 100 / 62.4 V | 625 W      | 486 W     |

Из таблицы видно, что пиковый лимитер работает правильно. Он поддерживает пиковое напряжение на уровне 100 В. В то же время RMS мощность зависит от пик-фактора музыкального сигнала и сильно возрастает при уменьшении пик-фактора. По этой причине очень важно использовать 2 лимитера – пиковый лимитер для защиты от механических повреждений и RMS лимитер для защиты динамика от перегрева.

### 1.2.2 Общие параметры лимитеров

#### Threshold (Порог)

Когда уровень входного сигнала превышает установленный порог – лимитер начинает уменьшать усиление. Усиление снижается пропорционально превышению уровня сигнала по отношению к порогу. Пороговое значение измеряется в dB относительно опорного значения.

#### Attack Time (Время атаки)

Это время, требуемое лимитеру, для уменьшения уровня входного сигнала после превышения им порога.

Чем больше установлено время атаки, тем выше риск повреждения оборудования, т.е. установка слишком большого значения времени атаки может не обеспечить эффективную защиту динамиков. В то же время настройки с слишком малым временем атаки будут ощутимо искажать выходной сигнал или существенно изменять огибающую (атаку) сигнала. А так как, форма огибающей (атаки) сигнала несет много информации о «яркости» сигнала (особенно для ударных инструментов) – изменение ее формы лимитером приведет к ухудшению качества звука. Поэтому, хорошим компромиссом является установка времени атаки не больше, чем период самого низкочастотного сигнала, подаваемого на динамик (например, 1 мс для динамика, работающего от 1 кГц).

#### Release Time (Время восстановления)

Это время, в течение которого усиление возвращается к прежнему уровню после снятия перегрузки. Обычно оно устанавливается с коэффициентом от 1 to 32 по отношению ко времени атаки.

#### Hold Time (Время удержания)

Это время, в течение которого уровень усиления удерживается неизменным после срабатывания лимитера. Удерживание в течение определенного времени уровня усиления позволяет предотвратить появление слишком больших искажений формы низкочастотных сигналов.

Время удержания не должно быть меньше периода самого низкочастотного сигнала, подаваемого на динамик.

#### Soft knee (Плавный порог)

Плавный порог плавно увеличивает степень сжатия, при увеличении уровня сигнала. При этом переход от необработанного к компрессированному сигналу становится менее заметным.

### 1.2.3 Пиковый лимитер

Пиковый лимитер в **SigmaStudio** имеет 3 настраиваемых параметра:

- ▶ **Threshold** (Порог)
- ▶ **Decay** (Скорость спада)
- ▶ **Hold** (Время удержания)

**Decay** (скорость спада) – это скорость, с которой усиление возвращается к прежнему уровню после снятия перегрузки. Она измеряется в дБ/секунду (dB/s) и математически строго связана с временем восстановления лимитера (**Release time**).

## 1.2.4 Расчет параметров пик-лимитера

Для упрощения этой работы мы подготовили файл в формате Excel, подставив в который параметры динамика и усилителя Вы сможете получить данные для настройки лимитера. Файл находится:

Пиковый лимитер обычно настраивают базируясь на программной (музыкальной) мощности динамика. Как правило, эта мощность в 2 раза выше номинальной мощности.

Сначала нужно определить допустимое пиковое напряжение на динамике.

$$V_{PEAK} = \sqrt{(2 \times P_{mus} \times R)}, \text{ где}$$

**P<sub>mus</sub>** – задекларированная музыкальная (или часто называемая Program power).

**R** – сопротивление динамика.

Для расчета порога срабатывания компрессора также нужно знать коэффициент усиления усилителя. Он зависит от сопротивления нагрузки (**R**), на которую рассчитан усилитель, и выходной мощности усилителя (**P**) для данного сопротивления нагрузки.

$$K_{УС} = \sqrt{(P \times R) / 0,775}$$

После этого можно определить порог срабатывания лимитера:

$$\text{Threshold (dB)} = 20 \times \log_{10}(V_{PEAK} / (2.7 \times K_{УС}))$$

Время восстановления лимитера можно рассчитать по формуле:

$$T_{RELEASE} \text{ (ms)} = (K / F_{MIN}) \times 1000$$

**F<sub>MIN</sub>** – это нижняя граница рабочего диапазона громкоговорителя, **K** – константа, выбирается обычно от 2 и 8.

Рекомендуем использовать коэффициент 4 в качестве значения **K**, однако другие значения также могут быть использованы, но уже на основе Ваших собственных критериев или вкуса.

После определения значения времени восстановления **T<sub>RELEASE</sub> (ms)** его нужно преобразовать в скорость спада (**Decay**), понятное программе **SigmaStudio**. Для преобразования можно использовать таблицу или же формулу пересчета:

| <b>T<sub>RELEASE</sub></b> | <b>Decay</b> |
|----------------------------|--------------|
| 130 ms                     | 25 dB/s      |
| 100 ms                     | 33 dB/s      |
| 65 ms                      | 50 dB/s      |
| 50 ms                      | 65 dB/s      |
| 30 ms                      | 108 dB/s     |
| 13 ms                      | 250 dB/s     |
| 3 ms                       | 1080 dB/s    |

$$\text{Decay (dB/s)} = 3250 / T_{RELEASE} \text{ (ms)}$$

Время удержания (**Hold time**) лимитера не влияет на его способность защитить динамик от перегрузки. Оно связано только с заметностью работы лимитера. Как правило, значение этого времени можно привязать к нижней границе рабочего диапазона громкоговорителя:

$$T_{HOLD} = (1 / F_{MIN}) \times 1000$$

$$\text{Например: } (1 / 40 \text{ Гц}) \times 1000 = 25 \text{ мс}$$

### Пример расчета

Рассчитаем параметры пикового лимитера для динамика **15NW76-8** при использовании его совместно с усилительным модулем мощностью 1400 Вт @ 8 Ом в широкополосном громкоговорителе, работающем от 40 Гц.

Параметры динамика:

Программная мощность = 1200 Вт  
Номинальное сопротивление = 8 Ом

Рассчитываем:

$$V_{PEAK} = \sqrt{2 \times 1200 \times 8} = 138 \text{ В}$$

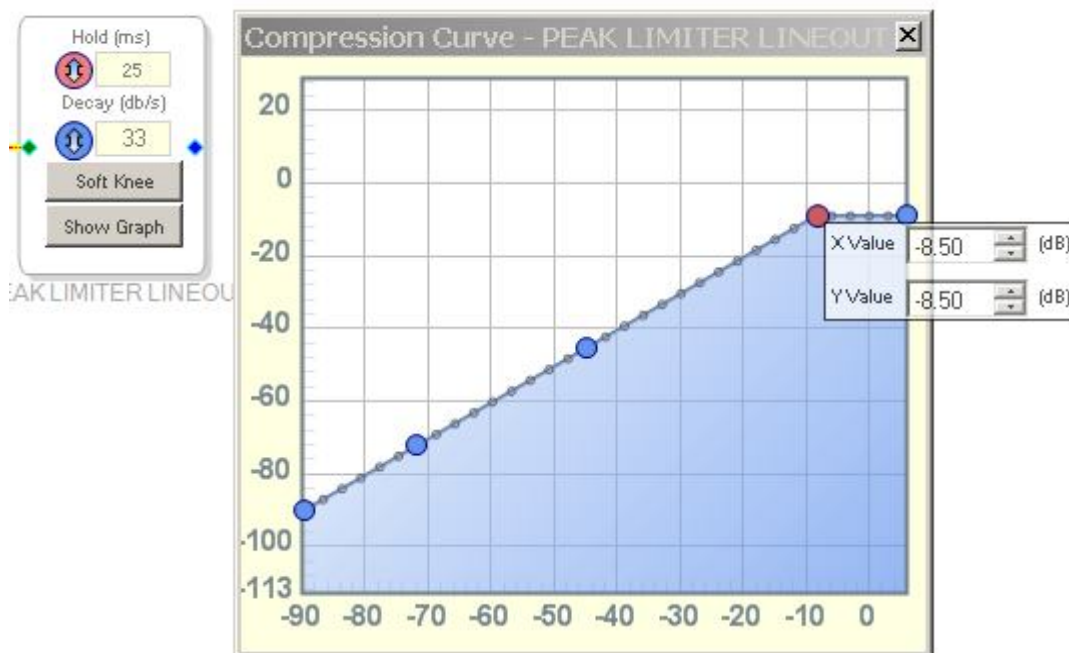
$$K_{УС} = \sqrt{(1400 \times 8) / 0,775} = 136$$

$$\text{Threshold} = 20 \times \log_{10}(138 / (2,7 \times 136)) = -8,5 \text{ дБ}$$

$$T_{RELEASE} = (4 / 40) \times 1000 = 100 \text{ ms, что соответствует Decay} = 32 \text{ дБ/сек } (= 3250 / 100)$$

$$T_{HOLD} = (1 / 40) \times 1000 = 25 \text{ ms}$$

Полученные значения нужно ввести в соответствующие поля лимитера. Значение порога нужно ввести графически, нажав кнопку **Show Graph** на блоке Пик-лимитера.



## 1.2.5 Настройка параметров RMS-лимитера

Для правильного лимитирования требуется информации о том, какая часть подводимой к динамику мощности преобразуется в тепло. Это зависит от конструкции динамика и от возможности его охлаждения в составе акустической системы.

**RMS-лимитер** должен предотвратить перегрев звуковой катушки, не ограничивая при этом «отдачу» динамика по звуковому давлению. Для получения оптимального звука компрессор не должен снижать усиление больше, чем на 2-4 дБ даже для самого громкого музыкального произведения.

Также нужно учитывать пик-фактор музыкального сигнала

Поэтому обычно приходится применять эмпирические решения о порогах лимитирования и временных константах.

Эмпирически можно принять следующее соотношения:

$$P_{\text{тепло}} = P_{\text{aes}} / 2,5$$

$P_{\text{тепло}}$  – это часть от максимальной мощности динамика, которая будет рассеиваться на катушке.

Однако для принятия окончательного решения при определении максимальной безопасной мощности рассеивания на катушке желательно более детально исследовать работу динамика. Если после длительной работы динамик остается холоднее, чем ожидалось, порог лимитирования можно сдвинуть выше на 1-2 дБ. Если же динамики перегреваются и появляется запах нагретой катушки – то порог лимитирования нужно сдвинуть ниже на 1-2 дБ. В любом случае это всегда будет компромисс между надежной работой и высокой отдачей динамиков.

**RMS-лимитер** программы **SigmaStudio** имеет 3 настраиваемых параметра:

- ▶ **Threshold** (Порог)
- ▶ **RMS TC** (Постоянная времени срабатывания лимитера)

### ► Decay (Скорость спада)

**Threshold** – это пороговое значение уровня, после превышения которого (входным сигналом), лимитер начинает уменьшать усиление входного сигнала. Усиление снижается пропорционально превышению уровня сигнала по отношению к порогу. Пороговое значение измеряется в dB относительно опорного значения.

**RMS TC** – это постоянная времени срабатывания лимитера, соответствующая времени атаки **Attack Time**, но измеряется не в миллисекундах (ms), а в дБ/секунду (dB/s).

**Decay** – это скорость, с которой усиление возвращается к прежнему уровню после снятия перегрузки. Она измеряется в дБ/секунду (dB/s) и математически строго связана с временем восстановления лимитера (**Release time**).

### 1.2.6. Расчет параметров RMS-лимитера

Сначала исходя из допустимой **AES** или **RMS** долговременной мощности нужно определить максимальное напряжение на динамике.

$$V_{RMS} = \sqrt{(0.4 \times P_{aes} \times R)}$$

Для расчета порога срабатывания компрессора также нужно знать коэффициент усиления усилителя. Он зависит от сопротивления нагрузки (**R**), на которую рассчитан усилитель, и выходной мощности усилителя (**P**) для данного сопротивления нагрузки.

$$K_{ус} = \sqrt{(P \times R) / 0,775)}$$

Дальше нужно определить порог

$$\text{Threshold (dB)} = 20 \times \log_{10}(V_{RMS} / (2.92 \times K_{ус}))$$

Временные постоянные эмпирически могут быть определены по таблице (см. ниже). В таблице даны времена срабатывания/восстановления в миллисекундах (ms), и соответствующие им значения параметров **RMS TC** и **Decay** в дБ/секунду (dB/s).

| Диаметр звуковой катушки | Мощность      | Attack time | RMS TC   | Release | Decay   |
|--------------------------|---------------|-------------|----------|---------|---------|
| 1" Tweeter               | 20 - 50 W     | 10 ms       | 500 dB/s | 30 ms   | 9 dB/s  |
| 1.5" Tweeter             | 50 -75 W      | 20 ms       | 250 dB/s | 40      | 10 dB/s |
| 2" Horn driver           | 50 -100 W     | 50 ms       | 100 dB/s | 100     | 11 dB/s |
| 3" Horn driver           | 75 -125 W     | 100 ms      | 50 dB/s  | 200     | 12 dB/s |
| 2" Midrange              | 75 - 300 W    | 100 ms      | 50 dB/s  | 600     | 13 dB/s |
| 3" Midbass               | 100 - 500 W   | 200 ms      | 25 dB/s  | 1000    | 14 dB/s |
| 4" Woofer                | 00 -1000 W    | 500 ms      | 10 dB/s  | 1250    | 14 dB/s |
| 4" Woofer                | 500 - 1500 W  | 1000 ms     | 5 dB/s   | 2000    | 15 dB/s |
| 6" Woofer                | 1000 - 2000 W | 1500 ms     | 0 dB/s   | 3000    | 16 dB/s |

### Пример расчета

Рассчитаем параметры **RMS-лимитера** для динамика **15NW76-8** при использовании его совместно с модулем мощностью 1400 Вт (W) @ 8 Ом (Ohm) в широкополосном громкоговорителе, работающем от 40 Гц (Hz).

**Параметры динамика:**

**AES мощность = 600 Вт (W)**

**Номинальное сопротивление = 8 Ом (Ohm)**

$$V_{RMS} = \sqrt{(0.4 \times 600 \times 8)} = 43 \text{ В (V)}$$

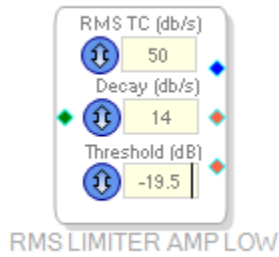
$$K_{ус} = \sqrt{((1400 \times 8) / 0,775)} = 136$$

$$\text{Threshold} = 20 \times \log_{10}(43 / (2.92 \times 136)) = -19.2 \text{ дБ (dB)}$$

**RMS TC = 50 дБ/секунду (dB/s)**

**Decay = 14 дБ/секунду (dB/s)**

Полученные значения нужно ввести в соответствующие поля окна лимитера.

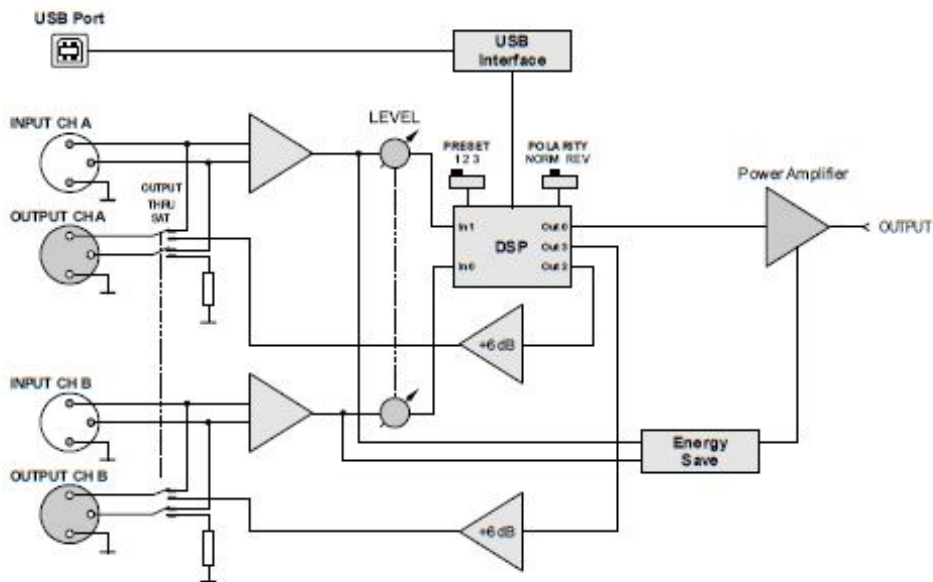


Для упрощения этой работы мы подготовили файл в формате Excel, подставив в который параметры динамика и усилителя. Вы сможете получить данные для настройки лимитера. Файл Вы сможете найти на компакт-диске, поставляемом с модулем или на нашем сайте.

И последнее, на что нужно обратить внимание: уровень сигнала на линейном выходе поднят на 6 дБ аппаратно, после DSP.

Это связано с тем, что регулятор уровня модуля с DSP регулирует также уровень сигнала и на линейных выходах модуля. Поэтому лишние 6дБ усиления дают возможность согласовать уровни колонок регуляторами уровня систем, подключенных к линейным выходам модуля.

#### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



Соответственно при расчете лимитирования для линейных выходов нужно учесть дополнительное усиление на 6дБ после DSP.