



Устройства обработки звуковых сигналов

Компрессор-лимитер

Основные технические характеристики

Номинальный уровень входного и выходного сигналов	0,775 В
Частотный диапазон	20–20000 Гц
Коэффициент гармоник при номинальном входном напряжении	≤0,08 %
Отношение сигнал/взвешенный шум	82 дБ
Время срабатывания	5 мс
Время восстановления после воздействия пика сигнала	длительностью менее 60 мс... 70 мс длительностью более 200 мс... 2–12 с

Компрессоры-лимитеры (пиковые лимитеры) широко применяются в звукотехнике, радиовещании и телевидении. Они позволяют исключить перегрузку по входу различных устройств, критичных к уровню входного сигнала, а также сжать динамический диапазон входного сигнала. Лимитеры являются обязательной частью студийных микшерных пультов, включаются перед входами усилителей мощности, аппаратуры магнитной записи звука, АЦП, модуляторов звукового сигнала в радио- и телепередатчиках.

В домашнем аудиоккомплексе компрессор-лимитер можно применять для защиты от перегрузки усилителей мощности и при записи магнитных фонограмм от источника звукового сигнала с большим динамическим диапазоном (например, проигрывателя CD) во избежание насыщения магнитной ленты.

Компрессоры-лимитеры — это динамические регуляторы уровня звукового сигнала, коэффициент передачи которых изменяется по определенному алгоритму в зависимости от величины входного или выходного сигнала.

Основными параметрами, характеризующими работу динамических регуляторов, являются:

- динамический коэффициент передачи сигнала K_d , равный отношению приращений входного и выходного напряжений, выраженных в децибелах, $K_d = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$. $K_d < 1$ соответствует расширению (экспандированию) динамического диапазона, $K_d > 1$ — сжатию (компрессии);
- порог срабатывания — точка перегиба передаточной функции $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Определяет уровень входного сигнала, соответствующий резкому изменению K_d (рис. 1). (В общем случае динамические регуляторы могут иметь несколько точек перегиба передаточной функции, а пиковые лимитеры имеют порог, равный 0 дБ или несколько выше);
- время срабатывания и время восстановления устройства (установления K_d с заданной точностью) соответственно для резкого (скачкообразного) нарастания и спада уровня входного сигнала.

На рис. 1 изображена типовая передаточная характеристика компрессора-лимитера с порогом срабатывания 0 дБ. Как видно, входной сигнал с уровнем 0 дБ и менее проходит на выход устройства без изменений ($K_d = 1:1$), а при увеличении входного сигнала выше 0 дБ выходной сигнал лимитируется с коэффициентом компрессии $K_d = 20:1$.

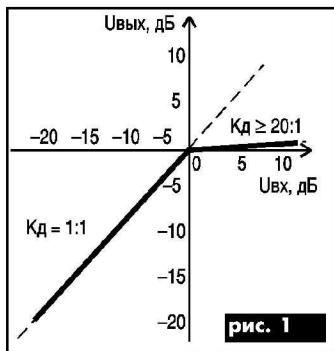


рис. 1

Например, при увеличении входного сигнала до +10 дБ выходной возрастает всего до 0,5 дБ.

На рис. 2 изображена структурная схема компрессора-лимитера, по которой выполнено подавляющее большинство устройств данного типа. Входной звуковой сигнал поступает на сигнальный вход управляемого усилителя (УУ). На управляющий вход УУ через времяформирующие цепи (ВФЦ) поступает постоянное управляющее напряжение с выхода усилителя-компаратора (УК), на один из входов которого подается опорное напряжение $U_{\text{оп}}$, а на второй — выпрямленное с помощью детектора (Д) напряжение выходного сигнала УУ. При отсутствии входного сигнала и когда его уровень меньше 0 дБ, напряжение на выходе детектора меньше $U_{\text{оп}}$ и недостаточно для срабатывания УК. В этом случае максимальное постоянное напряжение с выхода УК поступает на управляющий вход УУ через зарядную цепь $R_b V D 1$ конденсатора С. При этом коэффициент усиления УУ максимален и равен единице. При уровне входного сигнала выше 0 дБ напряжение на выходе Д становится больше $U_{\text{оп}}$ и достаточным для срабатывания УК. Постоянное напряжение на выходе УК уменьшается, происходит разряд конденсатора С через цепь $R_c V D 2$ и уменьшается коэффициент усиления УУ ($K_{\text{ус}} < 1$). Таким образом, происходит лимитирование уровня выходного сигнала с коэффициентом компрессии, определяемым коэффициентами передачи детектора, усилителя-компаратора, а также коэффициентом передачи УУ по управляющему входу. Цепь $R_c C$ определяет время срабатывания лимитера, $R_b C$ — время восстановления. Для того чтобы лимитер мог реагировать на короткие пики

сигнала, время срабатывания устанавливают минимальным в пределах 1–20 мс. Время восстановления делают много больше, в пределах 0,2–50 с, в зависимости от варианта применения устройства. Например, при записи и передаче репортажей речевой сигнал сжимают на 12–20 дБ, а время восстановления делают минимальным (0,2–0,5 с). Этим достигается высокая разборчивость речевой информации, но за счет потери естественности звучания (появляются сильные модуляционные шумы и большие искажения динамического диапазона исходного сигнала). При обработке музыкальных сигналов применяют меньшую степень лимитирования (сжатие на 4–10 дБ) и большее время восстановления (1,5–10 с и более), в этом случае модуляционные шумы намного меньше, однако заметно взаимная модуляция звуковых сигналов. Например, при появлении на входе лимитера короткого (20–60 мс) мощного звукового сигнала вслед за ним следует «тихая пауза», равная времени восстановления, в течение которой остальные звуки приглушены. Для устранения этого недостатка в профессиональных устройствах применяют более сложные времяформирующие цепи с несколькими постоянными времени.

С учетом анализа схемотехники лимитеров, выпускаемых известными зарубежными фирмами, был разработан двухканальный компрессор-лимитер, который можно использовать для обработки стереофонических сигналов при записи на магнитную ленту, в составе студийного микшерного пульта для обработки двух различных сигналов или лимитирования сформированного стереосигнала, а также для защиты от перегрузки выходных усилителей мощности.

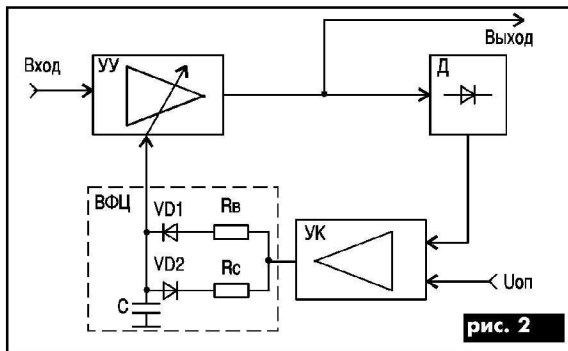


рис. 2

Принципиальная схема лимитера показана на рис. 3. Управляемый усилитель выполнен на элементах VT1, DA1; детектор выходного сигнала — на VD1, VD2, VT2; усилитель-компаратор — на VT3. Времяформирующие цепи выполнены на элементах C14, C15, R18, R19, R20. Параметры цепей заимствованы из схемы лимитера, входящего в состав одного из микшерных пультов фирмы Sluder. Входной сигнал ослабляется делителем R1, R2, R3 до 30 мВ. Это необходимо для уменьшения искажений, вызванных нелинейностью VT1, работающего в режиме управляемой проводимости.

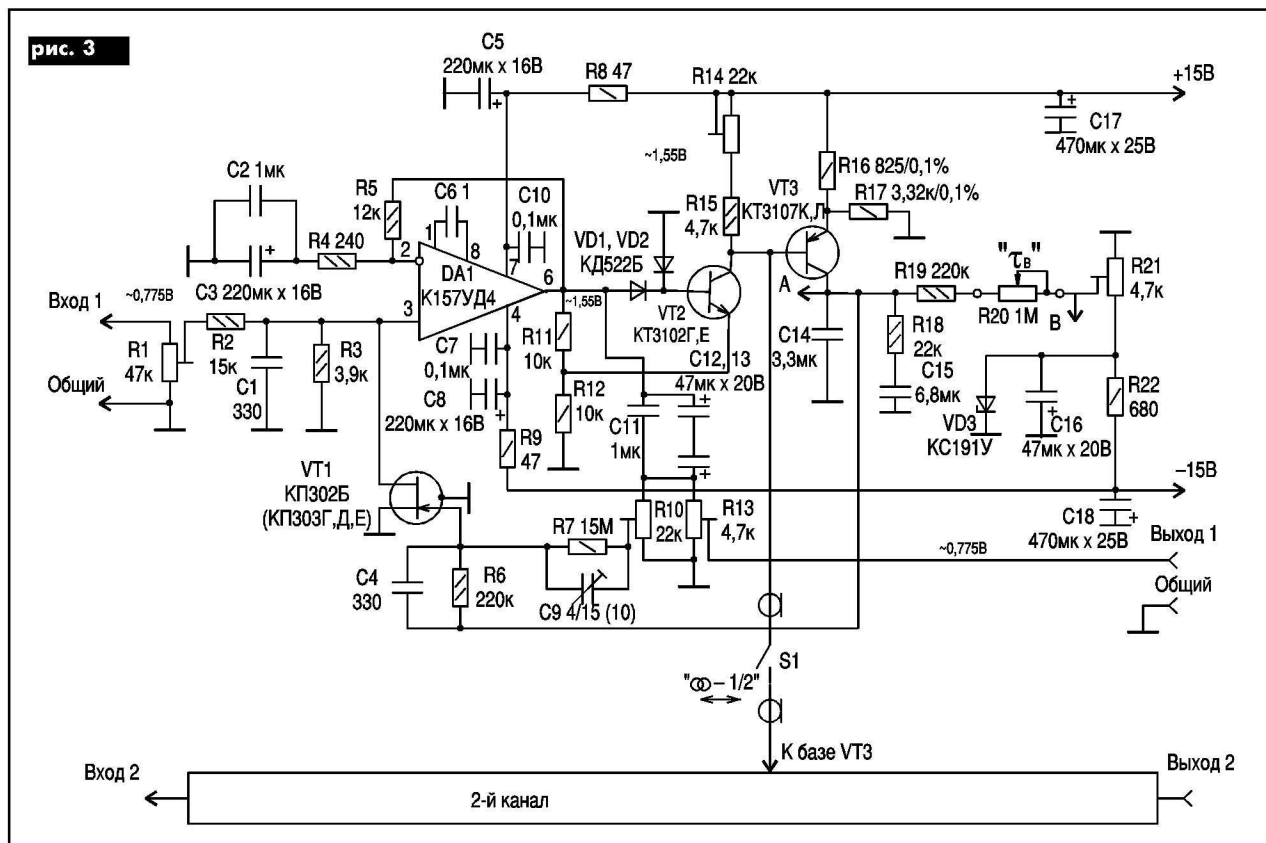
Дополнительная компенсация нелинейных искажений осуществляется подачей части выходного звукового сигнала на затвор VT1 через цепь R7, C9, R6, C4. ИС DA1 усиливает сигнал до уровня ~1,55 В, необходимого для нормальной работы детектора. Резисторы R16, R17 формируют опорное напряжение усилителя-компаратора VT3. Отрицательное постоянное напряжение несколько большей величины, чем напряжение отсечки VT1, поступает на его затвор с движка R21 через времяформирующие цепи и цепь компенсации искажений. При уровне входного сигнала, ниже номинального, VT1 находится в режиме отсечки и его проводимость равна нулю, а коэффициент передачи УУ максимален. Как только уровень входного сигнала превысит номинальный, усилитель-компаратор уменьшает отрицательное напряжение на выходе времяформирующей цепи, VT1 переходит в режим управляемой проводимости, и коэффициент передачи УУ уменьшается.

Для индикации степени лимитирования можно использовать схему, изображенную на рис. 4. Шкалу стрелочного прибора градуируют в децибелах в диапазоне 0–10 или 0–20 дБ в зависимости от требований пользователя.

В схеме (рис. 3) используют пленочные конденсаторы типа К73-16 или К73-17 (C2, C11, C14, C15), электролитические типа К53-1А или К50-24 (C3, C5, C8, C12, C13, C16–C18), C9 — подстроечный любого типа, остальные типа К10-17 или КМ. Постоянные резисторы R16, R17, типа С2-14, остальные типа С2-23, ОМЛТ, МЛТ-0,125/0,25. Подстроечные резисторы R1, R10, R13, R14, R21 и регулировочный R20 типа СП4-1. В качестве DA1 лучше всего применить отечественные ИС типа К157УД2, К157УД4, как наиболее подходящие по уровню шумов и нелинейных искажений для высококачественного звуковоспроизведения. Из зарубежных ИС можно рекомендовать NE5534, включив корректирующую емкость C6 между выводами 5 и 8. VT1 может быть типа КП302 или КП303 с



рис. 3



напряжением отсечки от 3 до 6 В. В стереоварианте желательно использовать полевые транзисторы с близкими характеристиками. Резисторы R16, R17 достаточно отобрать попарно в обоих каналах с точностью 0,1–0,25% из номиналов 820 Ом и 3,3 кОм с отклонением 5%. Сопротивление резистора R16 в пределах 800–850 Ом, R17 3–3,5 кОм. В узле индикации можно использовать любые ОУ с полевым входом. Питание осуществляется от двухполярного стабилизированного источника с напряжением ± 15 В, с пульсациями не более 5 мВ и током нагрузки не менее 50 мА.

Настройка. Перед включением переменные резисторы R1, R10, R13, R20 устанавливают в среднее по схеме положение; R14, R21 – в нижнее. Затем включают устройство и подают сигнал частотой 400–1000 Гц и уровнем 0,775 В (0 дБ). Резистором R1 устанавливают величину сигнала $\sim 1,55$ В на выходе DA1, а резистором R13 – $\sim 0,775$ В на выходе устройства. Медленно вращая ось R21, добиваются начала уменьшения выходного напряжения DA1, затем измеряют отрицательное напряжение на среднем выводе R21 и увеличивают его на 5–10%. Увеличивают уровень входного сигнала на 1 дБ, вращением оси R14 уменьшают возросшее выходное напряжение на среднем выводе R13 до 0,1–0,2 дБ. Подключив к выходу лимитера измеритель нелинейных искажений, минимизируют коэффициент гармоник с помощью R10. Увеличивают частоту входного сигнала до 10–20 кГц и добиваются того же вращением оси C9.

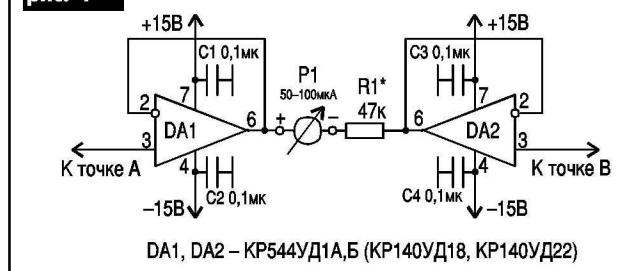
Проверяют передаточную характеристику лимитера при частоте входного сигнала 400–1000 Гц в диапазоне входных уровней $-20 \dots +20$ дБ. Она должна соответствовать рис. 1.

Градуировку индикатора степени лимитирования выполняют следующим образом. Выбирают максимальное значение степени лимитирования в диапазоне 10–20 дБ. Затем подают на вход лимитера сигнал соответствующего уровня, подбором R1 (рис. 4) устанавливают стрелку P1 на конечное значение шкалы. Уменьшая уровень входного сигнала от максимального до номинального, градуируют P1 через 2, 3 или 5 дБ.

Обычно для изменения степени лимитирования на входе лимитера включают регулируемый усилитель. В данной схеме для этого можно использовать резистор R1, установив его на передней панели устройства. В этом случае порог лимитирования можно менять в широком диапазоне уровней входного сигнала от 150 мВ (–14 дБ) до 1,55 В (6 дБ) и выше. Резистор R13 можно использовать для регулировки уровня входного сигнала устройства, следящего за лимитером, установив собственные регуляторы уровня или уровня записи этого устройства в фиксированное положение. Регулятор времени восстановления R20 также желательно установить на передней панели лимитера.

При работе с устройством регулятором R1 устанавливают требуемую степень лимитирования, контролируя работу лимитера на слух и с помощью индикатора P1. Регулятором R20 устанавливают приемлемое время восстановления, ре-

рис. 4



гулятором R13 – требуемое значение выходного уровня. При обработке стереосигналов следует замкнуть выходы детекторов двух каналов между собой с помощью переключателя S1, в противном случае может нарушиться звуковая панорама стереосигнала.

Следует учесть, что применение любых динамических регуляторов усиления (компрессоров, лимитеров, экспандеров) приводит к изменению динамического диапазона звукового сигнала и соответственно – к нарушению естественности звучания. Поэтому применять их следует тогда, когда пользователь уверен в необходимости этого. Решение остается за ним.

Однако, в отличие от экспандеров, например, работа компрессоров-лимитеров менее заметна в силу особенностей человеческого слуха. Ограничив лимитирование на уровне 3–4 дБ и работая с временем восстановления более 2 с, можно сделать искажения естественности звучания минимальными. При перезаписи музыкальных программ с компакт-диска на аналоговый магнитофон, часто трудно уста-

новить оптимальный уровень записи, так как CD записываются с большим динамическим диапазоном и разница между уровнями отдельных музыкальных фрагментов и произведений может достигать 8–10 дБ. Если при записи классических музыкальных произведений это оправдано художественным замыслом исполнителей и звукорежиссеров, то при записи современной популярной музыки является просто очередной демонстрацией технических возможностей цифровой записи. Используя при перезаписи CD лимитер с параметрами, рекомендуемыми выше, можно сократить различие в уровнях отдельных фрагментов до 3–6 дБ, в то же время не допуская возникновения перегрузки на магнитной ленте.

Литература

1. Урбанский Б. Электроакустика в вопросах и ответах: Пер. с пол. / Под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Радио и связь. – 1981. – 248 с.
2. Нисбетт Алек. Применение микрофонов / Пер. с англ. В.И. Болотникова. – М.: Искусство. – 1981. – 173 с., ил.