

### **Лекция 3. СИСТЕМЫ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ЗВУКОЗАПИСИ**

Качество звучания в ЗВ, звукозаписи, устройствах звукоусиления и связи ухудшают различные мешающие воздействия, именуемые помехами.

По происхождению помехи разделяют на акустические и электрические. Электрические в свою очередь подразделяют на космические, атмосферные, промышленные, внутренние.

Помехи также классифицируют по слуховому воздействию, виду спектра, длительности, диапазону частот.

Различают:

- сосредоточенную помеху с линейчатым спектром (например, фон  $L_f$   $f = 50, 100, 150, 300$  Гц), воспринимаемую как «гудение»;

- помеху с широким непрерывным спектром, вызываемую чаще всего термическим (тепловым) движением носителей зарядов (например, электронов и проявляющуюся как шум);

- импульсную помеху с широким спектром, но кратковременным воздействием, воспринимаемую как щелчки и потрескивания;

- внятную переходную помеху с широким спектром, образующуюся при паразитных связях между цепями, по которым передаются речевые и музыкальные сигналы.

Причины помех:

1. Недостаточная звукоизоляция помещений.
2. Пульсации выпрямленного тока в источниках питания, электрические «наводки» от цепей переменного тока.
3. Флуктуации электронов и других заряженных частиц в проводниках, резисторах, электронных приборах.
4. Посторонние электрические и магнитные поля, создаваемые трансформаторами, электродвигателями, цепями переменного тока, соседними цепями в многопарных кабелях.
5. Недостатки носителей записи, обусловленные неоднородностью магнитной ленты, грампластинок, а также копир-эффект и модуляционный шум.
6. Посторонние источники в радиодиапазонах (другие радиостанции, атмосферные электрические разряды, промышленная, медицинская, бытовая электроаппаратура).

Существует задача снижения уровня помех до такого значения, при котором они незаметны или мало заметны на слух даже в тихих местах звучания и в паузах.

Часть помех снижают до приемлемого значения в местах их возникновения техническими мерами.

Устройства и системы шумоподавления служат для борьбы с помехами, уже проникшими в аудиотракты или тракты ЗВ.

Системы шумоподавления условно разделяют на три группы:

По признаку воздействия на характеристики (АЧХ или амплитудную).

1) 1<sup>ая</sup> группа – изменяет форму АЧХ тракта и соответственно спектр сигнала.

2) 2<sup>ая</sup> группа – регулирует динамический диапазон сигнала.

3) Смешанные устройства – регулирует и АЧХ и амплитудную характеристику.

По признаку отсутствия или наличия регулирования во времени.

Различают системы: статические; динамические;

В *статических* системах воздействия на амплитудную или АЧХ неизменно во времени.

В *динамических* системах оно зависит от интенсивности и спектра сигнала и помехи.

Примером статической системы шумоподавления служит система предискажений, когда в звуковой тракт вносят частотные искажения с целью такого изменения спектра сигнала на входе тракта, чтобы лучше противостоять помехам, воздействующим на тракт (рисунок 3.1).

Возможность введения частотных предискажений основывается на том, что формы огибающих спектров сигнала и помехи различны и не совпадают по частотам.

Частотные предискажения в области верхних частот широко применяется в механической и магнитной записи звука, в МКЗВ и соединительных линиях, в МВ-ЧМ радиовещании, в передатчиках ТПВ. Среднестатистический выигрыш, создаваемый частотными предискажениями, составляет 4...5 дБ.



Рисунок 3.1 – Схема и спектры частотных предискажений

Иногда системы предискажений вызывают возрастание нелинейных искажений, увеличение копирэффекта при магнитной записи, появление «С-искажений» при МВ-ЧМ радиовещании (проявляются на свистящих и шипящих звуках).

Причина: разброс уровней натуральных звучаний музыкальных инструментов в областях НЧ и ВЧ достигает 30 дБ (большие уровни характерны для современных музыкальных ансамблей с электронными музыкальными инструментами и мощной ритмической группой).

Во избежание превышения номинального уровня при применении предусказаний уровни контролируют с помощью многополосного измерителя уровня и корректируют спектр сигнала вручную (это же при звукозаписи), либо включают (например, на вход передатчика МВ-ЧМ) устройство, анализирующее спектр и автоматически уменьшающее коэффициент передачи на верхних частотах при возникновении опасности перемодуляции (ограничители с переменным предусказанием).

В силу особенностей слухового восприятия уменьшение уровня ЗС, например, с  $N_1$  до  $N_2$ , приводит к субъективному сужению полосы слышимых частот (рисунок 3.2).

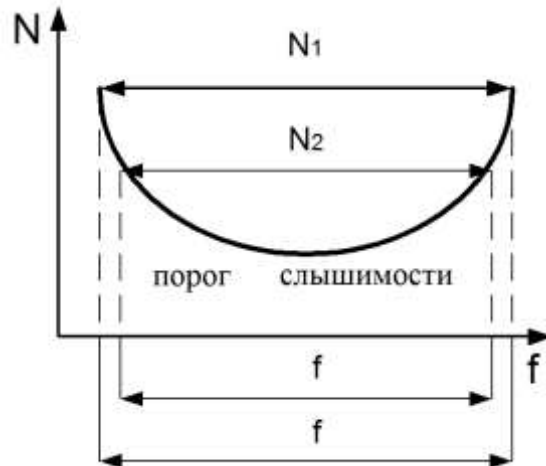


Рисунок 3.2 – Сужение полосы слышимых частот

Можно соответственно сужать полосу пропускания и тем самым «отсекать» области частот, в которых содержатся помехи.

Таким образом, сужение полосы пропускания тракта уменьшает влияние помех, частоты которых лежат вне спектра сигнала.

Ограничение полосы бывает и *динамическим*, когда полоса пропускания устанавливается минимальной в паузе и при небольших уровнях сигнала.

Желательно ограничивать полосу пропускания не только на верхних, но и на нижних частотах во избежание нарушения баланса громкостей низко- и высоко частотных составляющих ЗС.

Для этой цели применяют управляемые фильтры, осуществляющие динамическое регулирование полосы пропускания (рисунок 3.3, 1 – малые уровни, 2 – средние, 3 – большие). Подробнее такие шумоподавители будут еще рассмотрены.

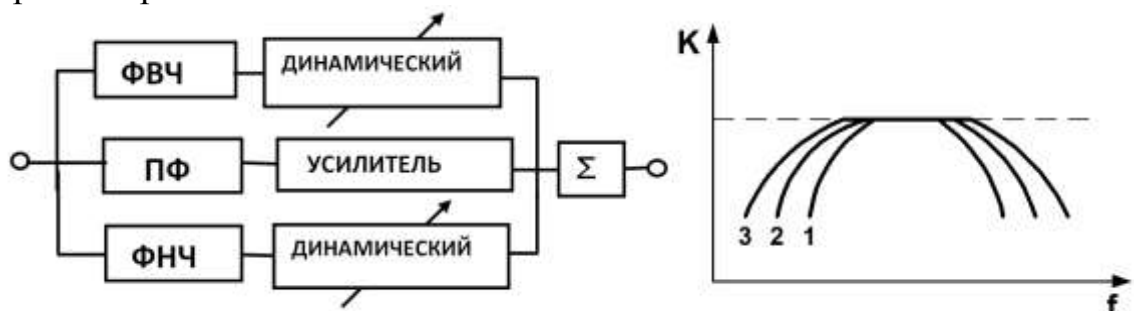


Рисунок 3.3 – Схема и коэффициент передачи управляемого фильтра

### 3.1 Шумоподавление в устройствах звукозаписи

Серьезный недостаток современных магнитофонов – высокий уровень шума (особенно при малых скоростях записи).

Для борьбы с шумом применяются устройства шумоподавления.

#### 1 Группа.

Шумоподаватели включаются только в тракт воспроизведения (и нет предварительной обработки сигнала при записи).

Достоинство: возможность улучшать качество ранее записанных фонограмм.

#### 2 Группа.

Относятся устройства, требующие обработки сигнала как при записи, так и при воспроизведении. Эффект компенсации создается только при этом условии.

Иначе искажения сигнала вместо шумоподавления.

Шумоподавление в его исходном смысле – есть удаление шумов с уже готовых фонограмм.

В этом случае сигнал обрабатывается только при воспроизведении, поэтому такие шумоподаватели называются «односторонними» (single-ended).

Самым первым односторонним шумоподавителем был простейший блокиратор сигналов (noise-gate или гейт) в паузах фонограмм. Он действовал как простой выключатель – либо полностью пропускал входной сигнал на выход, либо просто же его подавлял.

Во многих случаях он был полезен, но реального подавления шумов не осуществлял. Иногда даже наоборот, делал их субъективно более заметными – когда после абсолютной тишины (в паузе) начинало звучать тихое место фонограммы, на котором шумы как раз наиболее заметны. Поэтому в настоящее время гейты практически не применяются.

Для борьбы с описанным эффектом были разработаны самые различные системы шумоподавления, в основном для прослушивания записей с магнитофонов. Типичной разработкой является динамический ограничитель шума – DNL (Dynamic Noise Limiter).

Рассмотрим принцип действия шумоподавителя 1<sup>ой</sup> группы **DNL-динамический ограничитель шума**.

Идея. Работа основана на учете следующего фактора: в спектре музыкальных сигналов содержание высокочастотных компонентов зависит от громкости.

*С уменьшением громкости сигналов относительное содержание ВЧ компонентов снижается.*

Так при очень низком уровне звукового сигнала (пианиссимо) ширина спектра, излучаемого большинством музыкальных инструментов не более 4.5 кГц.

Поэтому для тихих звучаний при воспроизведении можно уменьшать полосу пропускания. При этом подавляются ВЧ компоненты шума.

При громком звучании полоса пропускания должна быть максимальна. Шум на выход попадает полностью, но он маскируется громким сигналом.

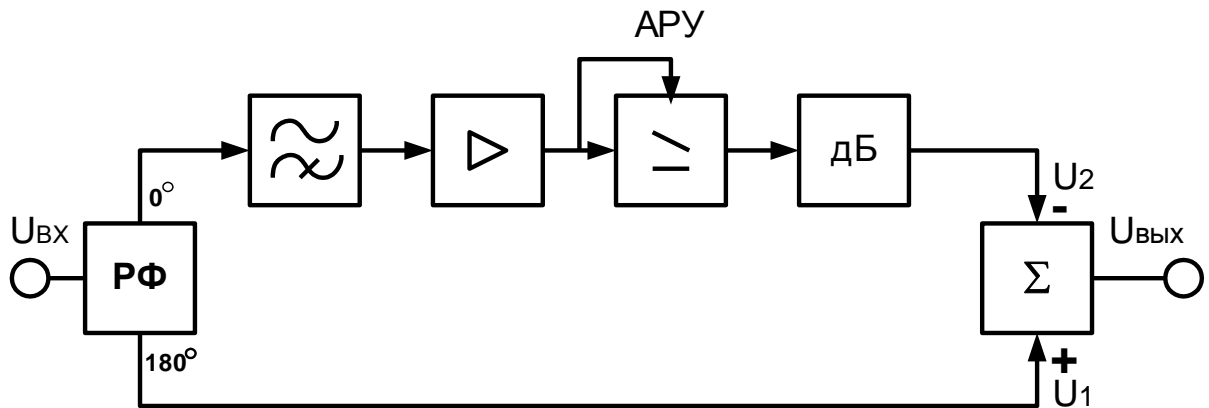


Рисунок 3.4 – Структурная схема DNL.

Входной сигнал поступает на расщепитель фазы (РФ). На его выходе два сигнала, сдвинутые по фазе на  $180^\circ$ . Сигнал  $U_1(+)$  подается на сумматор непосредственно.

Другой сигнал  $U_2$  – поступает на сумматор после обработки в цепи управления.

Цепь состоит из:

ФВЧ – подавляет составляющие сигнала ниже 4.5 кГц;

Усилитель – усиливает ВЧ составляющие;

АРУ – регулирует уровень ВЧ состава сигнала;

Удлинитель – вносит затухание (компенсирует усиление усилителя).

На выходе сумматора НЧ составляющие спектра сигнала в полосе до 4.5 кГц проходят по прямому каналу без изменений.

Для ВЧ составляющих коэффициент передачи схемы зависит от уровня сигнала.

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_1 - U_2 = U_{\text{ВХ}} - U_2 \quad \text{т.к. } U_1 = U_{\text{ВХ}}$$

В полосе до 4.5 кГц  $U_2 = 0$  и  $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$  (рисунок 3.5 а), Напряжение  $U_1$  пропорционально  $U_{\text{ВХ}}$ . В полосе выше 4.5 кГц зависимость  $U_2$  от  $U_{\text{ВХ}}$  имеет вид, представленный на рисунке 3.5 б.

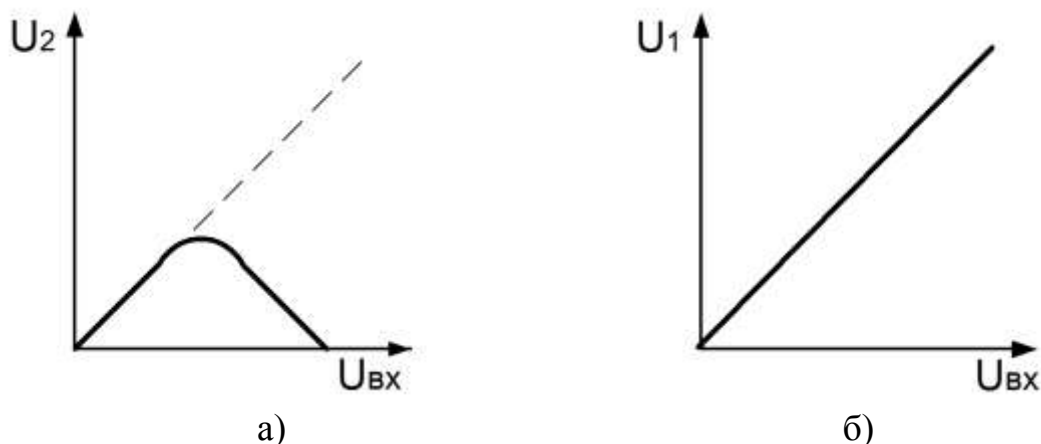


Рисунок 3.5 – Амплитудные характеристики трактов для  $U_2$  (а) и  $U_1$  (б)

Графическим вычитанием получаем зависимость  $U_{\text{вых}}$  от  $U_{\text{вх}}$ , представленную на рисунке 3.6.

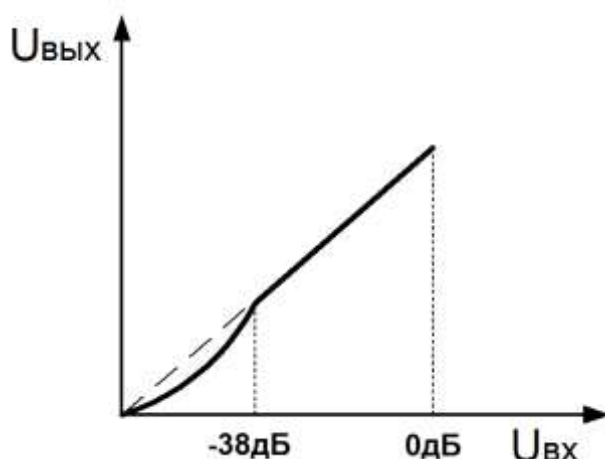


Рисунок 3.6 – Амплитудная характеристика DNL

Из рисунка видно, что для сигналов с малым уровнем коэффициент передачи уменьшается, чем и определяется подавление шумов.

#### Параметры DNL.

- Пороговое значение  $U_1$ , при котором начинает действовать шумоподавление на 38 дБ ниже  $U_{\text{ном}}$  (соответствует нижней границе  $D_c$ ).
- Улучшение отношения с/ш на  $f=6$  кГц ~ на 50 дБ,  
на  $f>10$  кГц более чем на 20 дБ.

Т.к. DNL включается только в тракт звуковоспроизведения, то он может использоваться со звукозаписывающей аппаратурой разных типов.

DNL может использоваться для улучшения качества звучания старых фонограмм.

DNL используется и в профессиональных системах для реставрации старых фоновых фонограмм.

DNL подавляет только аддитивный шум (шум паузы, шум усилителей и внешние помехи).

#### **Динамический подавитель шума (DNR) (рисунок 3.7).**

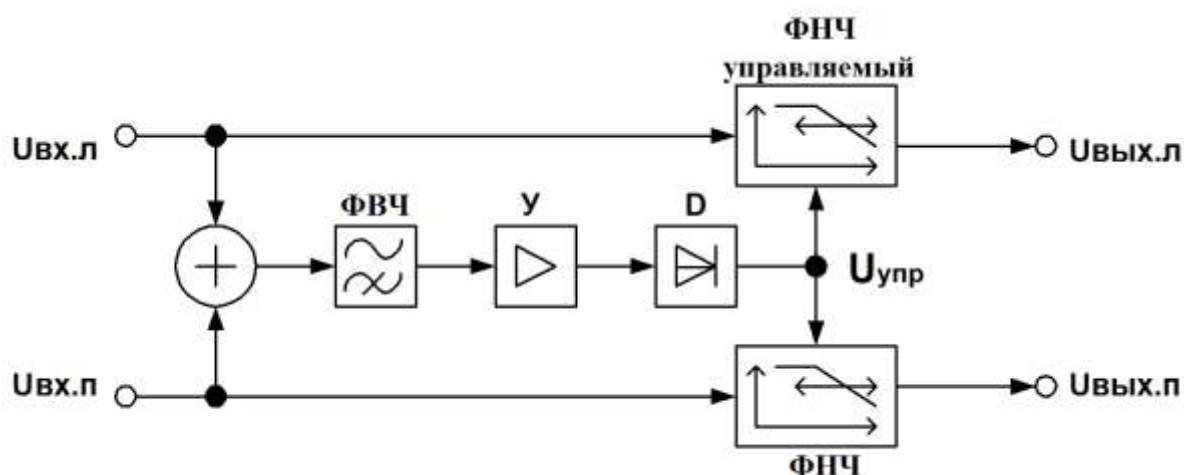


Рисунок 3.7 – Структурная схема DNR

Динамический подавитель шума работает по принципу управляемого фильтра. В канал передачи включается фильтр НЧ 1<sup>го</sup> порядка с управляемой частотой среза в полосе от 800 Гц до 30 кГц.

Граничная частота ФНЧ изменяется в зависимости от уровня сигнала (суммарного).

Управляющий сигнал выделяется из суммарного (стереофонического) сигнала в полосе частот выше 6 кГц и зависит от его уровня.

Выпрямитель уровня управляющего сигнала работает как пиковый детектор с постоянной времени срабатывания  $t_{cp}=0.5\text{мс}$  и постоянной времени восстановления  $t_{вос}=50\text{мс}$ . Максимальное подавление шума около 14 дБ.

При таком уровне сигнала (когда почти нет ВЧ составляющих) сигналы отфильтровываются фильтрами НЧ (т.е. их граничная частота понижается).

Рассмотренные способы в иностранной литературе получили название некомплементарных.

Несмотря на различные названия эти (DHL, DNR) и многие другие устройства шумоподавления работали примерно одинаково – ослабляли ВЧ составляющие сигнала, если их уровень в исходном сигнале был мал.

Для прослушивания записей это давало приемлемый эффект, но не годилось для профессиональной работы (кому из звукорежиссеров понравится непредсказуемое изменение тембра фонограмм при записи или сведении?).

Реальный прорыв в области шумоподавления был достигнут после изобретения шумоподавителя, в котором для уменьшения шумов применялся **адаптивный фильтр**, который изменял полосу своего пропускания в зависимости от спектра обрабатываемого сигнала.

Наиболее известное отечественное устройство такого рода – это динамический фильтр «Маяк», которым оснащались некоторые советские магнитофоны.

Западные производители начали выпуск таких устройств 20 лет тому назад и не прекращают сейчас в эпоху увлечения компьютерными обработками.

В самом деле, ведь компьютеры не особо потаскаешь с собой на концерт, дискотеку и другие места, где может понадобится шумоподавитель. Да и большинство программ не работают в реальном времени. Кроме того нужно учитывать капризность их операционных систем и самого программного обеспечения.

Поэтому сбрасывать со счетов аналоговые шумоподавители рано.

Итак – как же работает современный шумоподавитель, имеющий также общепринятое название **денойзер (denoiser)**.

Сердцем денойзера является особый фильтр, изменяющий полосу своего пропускания в зависимости от спектра обрабатываемого сигнала. Управляющая этим фильтром электронная схема постоянно анализирует входной сигнал.

На основе этого анализа схема перестраивает параметры фильтра так, что:

- обеспечивает максимально благоприятные условия для передачи полезных составляющих сигнала;
- максимально ослабляет его мешающие, шумовые компоненты.

Практически все серийно выпускаемые денойзеры в качестве самого фильтра применяют только один фильтр – фильтр низких частот (ФНЧ или Lo-Pass). Он обрезает все высокочастотные помехи, которые лежат за пределами полосы частот, занимаемой полезным сигналом, и не маскируются им.

Суть процесса маскировки иллюстрируется рисунком.3.8.

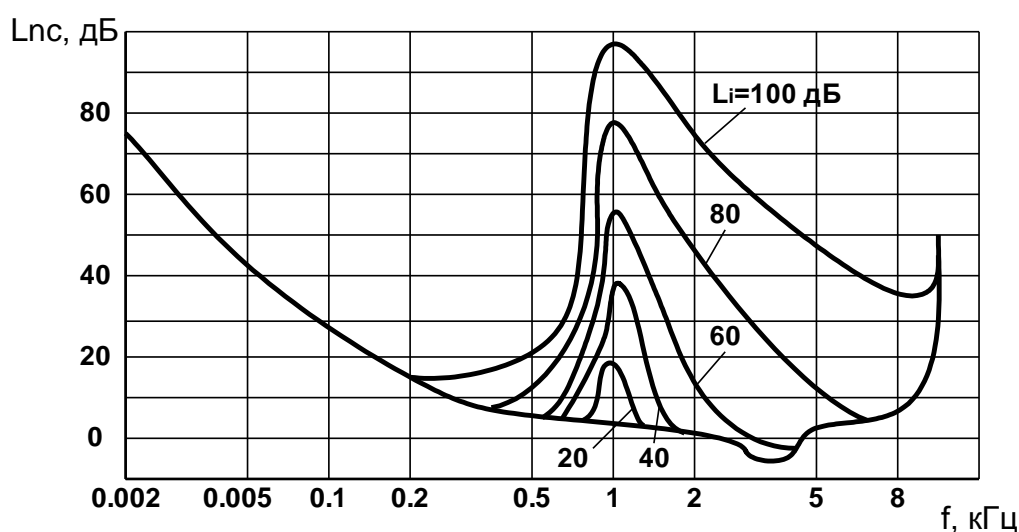


Рисунок 3.8 – Зависимость уровня порога маскировки от частоты

На этом рисунке приведены несколько колоколообразных кривых, показывающих величины маскировки в зависимости от величины тестового сигнала. В качестве него используется синусоидальный тон частотой 1000 Гц, а цифры на кривых – обозначают уровень тестового сигнала.

Рассмотрим для примера одну из кривых – например ту, которая соответствует уровню тестового сигнала в 80 дБ, это вторая кривая сверху. Она показывает, что в описанных условиях все сигналы, лежащие ниже этой кривой, слухом не воспринимаются. Таким образом, сигнал помехи с частотой около 2 кГц и уровнем порядка 40 дБ, находящийся близко к тестовому, как бы «попадает в его тень» (полосу маскировки), и слухом не воспринимается. Если же сигнал помехи имеет частоту около 8 кГц и уровень всего в 10 дБ, то он уже не попадает в полосу маскировки, и будет вполне отчетливо восприниматься слухом.

Однако этот сигнал помехи меньше уровня полезного сигнала (80 дБ) на целых 70 дБ. Поэтому столь малой величиной можно пренебречь.

Т.е. в указанных уровнях, если пропустить суммарный сигнал сквозь ФНЧ с граничной частотой около 6 кГц - то, как следует из графика, шумов



мы не услышим вообще. Т.е. шумы присутствуют, но слух их не воспринимает.

Поступить аналогично с низкочастотными составляющими шума нельзя. Кривые маскировки для частот, лежащих ниже полезной (на графике – они левее частоты тестового сигнала), имеют гораздо более резкий спад.

На практике это означает, что частота среза фильтра, который ограничивал бы полосу пропускания снизу, должна быть гораздо ближе к частоте полезного сигнала, чем в ранее рассмотренном примере. Это влечет за собой неизбежное увеличение сложности управляющей схемы. Казалось бы, само по себе и не очень страшно, если не считать существенного удорожания прибора.

Но, кроме точности управления фильтром по частоте, необходимо еще обеспечить и достаточное быстродействие, чтобы при быстро возникающем низкочастотном звуке его начальная часть (атака) не была бы «съедена» прибором. А вот это уже попросту невозможно, так как при большой скорости изменения АЧХ фильтра он будет сам вносить искажения в сигнал, поскольку скорость его перестройки становится уже сопоставимой со скоростью изменения низкочастотного сигнала, точнее – с его периодом.

Все вышеизложенные причины и привели к тому, что во всех денойзерах отдельного фильтра для устранения (обрезки) НЧ-шумов нет.

Таким образом, АЧХ денойзера имеет вид АЧХ НЧ-фильтра, частота среза которого тем выше, чем больше уровень входного сигнала, и чем выше наибольшая частота, присутствующая во входном сигнале (рисунок 3.9).

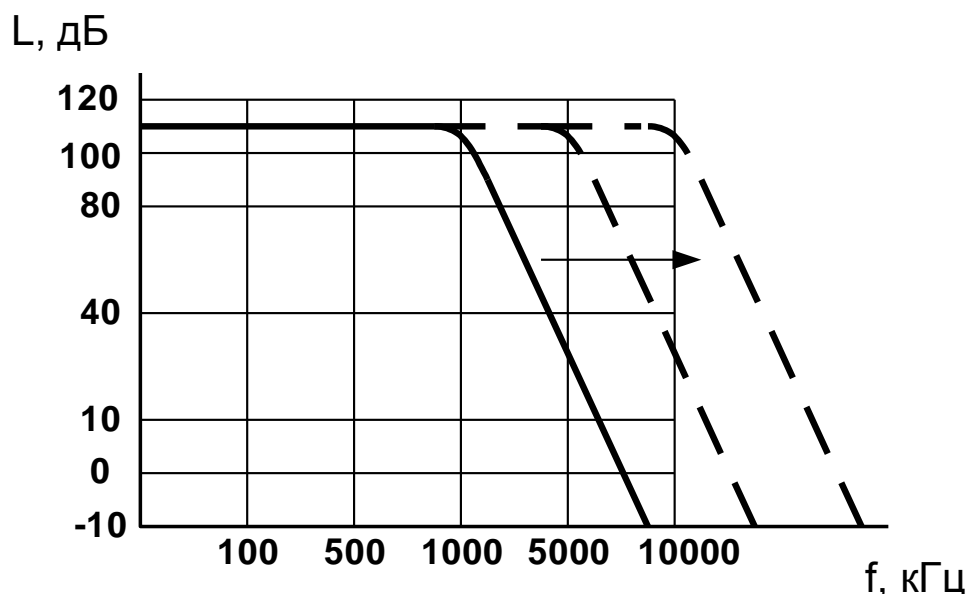


Рисунок 3.9 – АЧХ ФНЧ

На рисунке 3.9 стрелкой показано направление изменения АЧХ при увеличении уровня и/или расширении спектра входного сигнала.

В лучших моделях денойзеров, кроме собственно адаптивного фильтра, бывает добавлено еще и устройство для уменьшения шумов в паузах сигнала. Обычно это экспандер.

Работа всех компьютерных программ-денойзеров основана на разделении входного сигнала большим количеством узкополосных фильтров и подачи этих узкополосных сигналов на свои индивидуальные гейты. Затем выходы всех индивидуальных гейтов суммируются, и получается очищенный сигнал.

Из принципа действия очевидна нереальность любой попытки изготовить такой денойзер в аналоговом виде (число индивидуальных полосовых фильтров и гейтов может составлять несколько десятков тысяч). Поэтому такие денойзеры существуют только в цифровом виде (воплощенных в «железе» или чисто программных).

Основная проблема в таких шумоподавителях – это нереальное количество органов управления, т.е. задаваемых параметров.

Выход был найден в том, что основные параметры гейтов устанавливаются автоматически. Перед началом работы программы-денойзера на подлежащем обработке материале выбирается отрезок, не содержащий полезного сигнала, а только шумы. Этот образец шума и используется для настройки порогов гейтов.

Программные денойзеры создают характерные искажения исходного сигнала (артефакты), связанные с разделением сигнала на большое количество очень узких полос.

Вследствие поочередного исчезновения из звукового сигнала отдельных узких полос его составляющих (при работе гейтов), сигнал приобретает весьма характерный «фленджерный» призывок. Это явление принципиально не устранимо, но может быть сделано достаточно малозаметным.

### **Компандерные системы шумопонижения.**

Вторая большая группа устройств шумопонижения предназначена, главным образом, для расширения динамического диапазона трактов записи-воспроизведения, хотя иногда они применяются и в трактах приема-передачи – например, радиомикрофонов.

В отличие от ранее рассмотренных, эти системы абсолютно ничего не изменяют в исходном сигнале. Они только улучшают условия передачи сигнала через тот тракт, в котором установлены. И уменьшить уровень шумов непосредственно в обрабатываемом ими сигнале нельзя. Это не означает, что нельзя улучшить отношение сигнал/шум на выходе тракта. В этом случае на входе тракта сигнал подвергается компрессированию, а на выходе – экспандированию. Оба этих процесса могут быть еще и частотнозависимыми.

От объединения частей слов КОМПрессор и экспАНДЕР и родилось общее название таких систем – компандерные системы шумопонижения

Компандер – это общее название устройств, применяемых для расширения динамического диапазона путем компрессии сигнала на входе и последующего экспандирования на выходе.

### Недостатки компадерной системы:

1. Появление на выходе системы эффекта модуляции сигнала шумом, т.к. уровень шума на выходе изменяется в такт с сигналом.
2. Нелинейные искажения в переходных режимах из-за несовпадения частотных и фазовых характеристик К и Э и несовпадения их временных характеристик  $t_{cp}$  и  $t_{вос}$ . Это ведет к искажению фронтов и спадов сигнала, что для музыкальных программ недопустимо.
3. При регулировке не учитываются мгновенные спектры сигнала и помехи.

При большом различии спектров сигнала и шума изменение уровня шума одновременно с изменением сигнала может быть воспринято как возрастание шума  $\downarrow U_{ш} \uparrow, U_c \uparrow \downarrow K_{k\ min} \uparrow \downarrow K_{э\ max}$  и воспринимается на слух как рост уровня шума, если спектры сигнала и шума не совпадают. При совпадении спектров сигнала и шума, последний маскируется сигналом (при НЧ сигнале ВЧ шум заметен) – эти недостатки в большей степени присущи частотнонезависимым системам компандирования – dbx.

**Система шумоподавления dbx** (комплементарные широкополосные компандеры).

В этой системе используется классический широкополосный компандер с коэффициентом 2, т.е. на входе системы (например, при записи) сигнал кодируется (компрессуется) с коэффициентом сжатия (Ratio) равным 2, а на выходе (при воспроизведении) – декодируется (разжимается, или экспандируется) с коэффициентом, обратным компрессованию, и равным 0.5. Таким образом, в сквозном тракте не происходит изменения амплитудных (как, впрочем, и иных) характеристик сигнала.

В таких шумоподавителях степень увеличения отношения сигнал/шум зависит от уровня сигнала. Чем меньше сигнал, тем сильнее возрастает отношение сигнал/шум.

Существуют две основные версии системы шумоподавления dbx, носящие названия «Тип 1» и «Тип 2». Различие у них только в полосе сигнала, который воспринимается управляющими схемами (детекторами) компрессора и экспандера.

Тип 1 имеет наиболее широкополосный вход детектора, и предназначен для работы с катушечными магнитофонами на скоростях 38 и 76 см/с.

Тип 2 предназначен для работы с более узкополосными трактами, вроде кассетных магнитофонов и телефонных линий. Однако ограничение полосы частот относится только к схемотехнике цепей управления, и никак не связано с собственно звуковым трактом.

Важным качеством системы dbx является отсутствие явно выраженного порога срабатывания. Благодаря этому записи, сделанные с применением dbx без особых проблем воспроизводятся на других аппаратах.

На рисунке 3.10 приведена структурная схема компандера dbx-II.

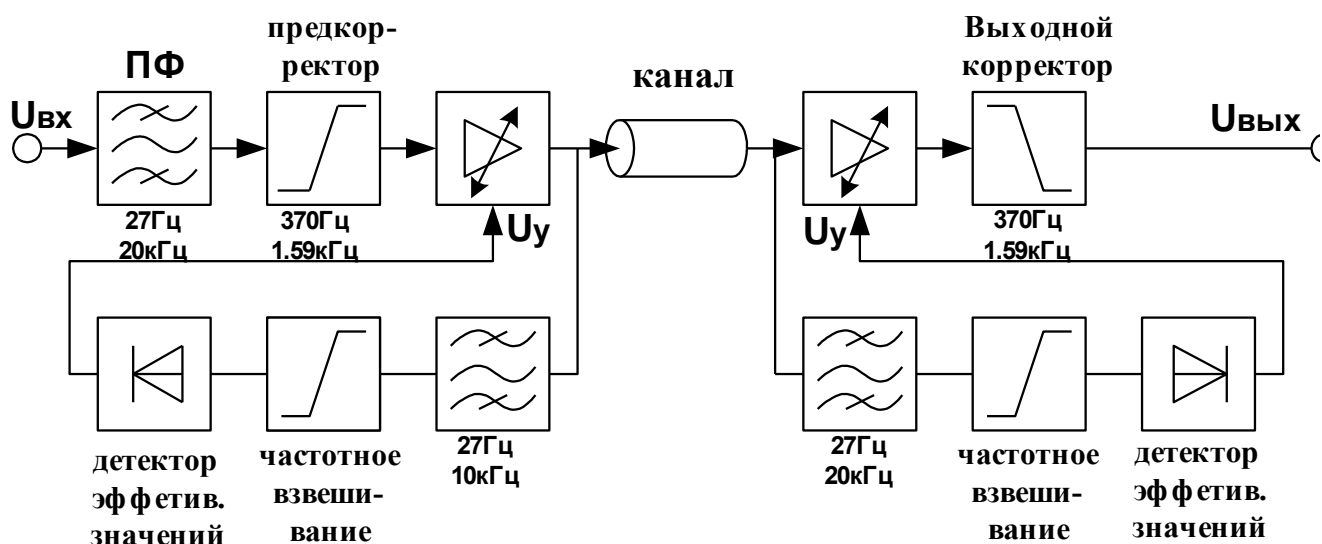


Рисунок 3.10 – Структурная схема компрессора dbx-II

Коэффициент сжатия этого компрессора равен 2. На входе включен полосовой фильтр с граничными частотами 27 Гц и 20 кГц. Далее следует фиксированный предкорректор верхних частот (граничные частоты 370 Гц и 1.59 кГц), который обеспечивает подъем уровня сигнала в области выше 2 кГц на 10 дБ. Эта мера позволяет понизить относительный уровень ВЧ шума в канале воспроизведения даже при небольшом сжатии.

Для исключения перегрузки канала при больших сигналах верхних частот, в детекторе уровня имеется каскад взвешивания частотной характеристики (фильтр ВЧ с граничной частотой  $f_{гр} = 48$  кГц и частотный корректор, работающий в полосе от 440 Гц до 4.8 кГц).

Уровень сигнала определяется двухполупериодным выпрямителем эффективных значений. Поскольку частота управляющего сигнала не меньше 50 Гц, то постоянные времени срабатывания и восстановления в этой цепи имеют значения не меньше 20 мс.

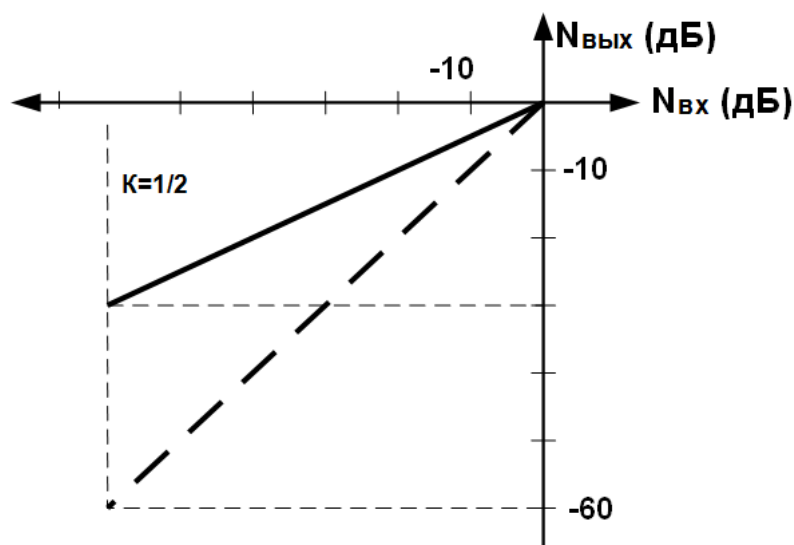


Рисунок 3.11 – Амплитудная характеристика dbx

Коэффициент усиления управляемого усилителя в логарифмическом масштабе линейно связан с управляющим напряжением ( $U_y$ ), что достигается каскадированным включением элементов схемы с взаимнообратными (логарифмической и антилогарифмической) характеристиками.

**Система преобразования dbx Type IV.** Запатентованный алгоритм аналогово-цифрового преобразования, который объединяет некоторые характерные особенности цифрового преобразования и аналоговой записи в целях сохранения сущности аналогового сигнала при преобразовании в «цифру». dbx Type IV [3] позволяет не только использовать широкий динамический диапазон современных АЦП в линейной области, но и расширить его за счет нелинейной. dbx Type IV создает в верхней части диапазона, где системы аналогово-цифрового преобразования уже не могут обеспечивать линейного возрастания уровня сигнала, **область перегрузки (Over Region) с логарифмической зависимостью**. Этот дополнительный запас по перегрузке, который является естественным для аналоговой записи, при помощи системы dbx Type IV становится доступным и для «цифры», при этом соотношение сигнал/шум не понижается.

Основное преимущество, благодаря которому компакт-диск, как новый носитель, успешно продвигался на рынке – особенная чистота звучания копии аналоговых записей, сделанных за предшествующий многолетний период. Это преимущество было обусловлено более широким, по сравнению с аналоговыми носителями, динамическим диапазоном. Стандартное соотношение сигнал/шум 16-битных систем записи звука – примерно 90 дБ. При аналоговой записи на профессиональную ленту, собственный динамический диапазон которой составляет всего 55 дБ, такого соотношения не удавалось добиться даже при помощи систем шумоподавления (в лучшем случае – 85 дБ).

Преимущества цифровой техники в области звукозаписи известны:

- выше соотношение сигнал/шум;
- обеспечение произвольного доступа;
- возможность многократного копирования без ухудшения качества сигнала.

Тем не менее аналоговая запись обладает определенными привлекательными особенностями, которые особенно проявились в последнее время.

Известно, что ленту можно «хорошенько нагрузить», не испортив при этом звучания. В технических характеристиках аналоговых магнитных лент реальный запас по перегрузке не публикуется, соответственно не может быть «законно» принят расчет.

Соотношение сигнал/шум для аналоговой ленты вычисляется относительно максимального уровня записанного сигнала определенной частоты, при котором возникает определенное количество гармонических

искажений (THD). Обычно это уровень, при котором в сигнале частотой 1000 Гц коэффициент гармоник не превышает 3%.

На практике же сигнал в пиках может превысить этот уровень на 5, 10 или даже 15 дБ без слышимых искажений. Конечно, при таком высоком уровне сигнала искажения тоже увеличиваются, но в данном случае они рассматриваются как эффект, называемый «насыщение ленты», звучание которого стало популярным в эпоху возрождения ламповой техники.

Очевидно, что аналоговая запись позволяет на практике использовать более широкий динамический диапазон, нежели указано в технических характеристиках магнитной ленты.

Очень часто при записи громких звучаний (например, барабана) в пиках, превышающих границу допустимых искажений на 15-20 дБ, они при воспроизведении звучат «красиво» (или приятно на слух). Поэтому при включении системы шумоподавления (увеличивает  $D_c$  на 20 дБ), динамический диапазон воспроизводимого сигнала составит не менее 90 дБ, что сравнимо с 16-битной «цифрой».

В цифровых же системах перегрузки недопустимы (т.е. не допускают искажений, звучание которых может нравиться). При перегрузке АЦП порождают собственные побочные эффекты, и воспроизведение годится только для озвучения драки медведя с павианом.

Это обстоятельство привело к тому, что уровень сигнала на всех этапах записи занижают, следовательно, динамический диапазон сигнала снижается.

Цель создания dbx Type IV – обеспечить использование динамического диапазона, превышающего возможности самих аналогово-цифровых преобразователей и сберечь максимальное количество информации об аналоговом сигнале, которая затем кодируется с разрешающей способностью конкретного преобразователя.

Идея работы системы dbx Type IV состоит в следующем:

Разработчики из компании dbx использовали то, что цифровая система записи по сравнению с аналоговой имеет более широкую область возрастания линейного уровня записанного сигнала.

Был создан алгоритм, позволяющий использовать верхние 4 дБ (обычно представленные в линейном соотношении с входным уровнем) для создания области, в которой уровень преобразованного сигнала представлен в логарифмическом соотношении. Это позволяет представить в пределах всего лишь четырех дБ фронты сигнала, уровень которых гораздо выше точки, где начинается область перегрузки.

На рисунке 3.12 представлено изменение уровня преобразованного сигнала ниже и выше начала области перегрузки.

Уровень преобразованного сигнала отложен по вертикали, а уровень входного сигнала – по горизонтали. Логарифмическое распределение сигнала начинается на 4 дБ ниже уровня 0 дБ по полной шкале, обычно применяемой в аналогово-цифровых преобразователях.

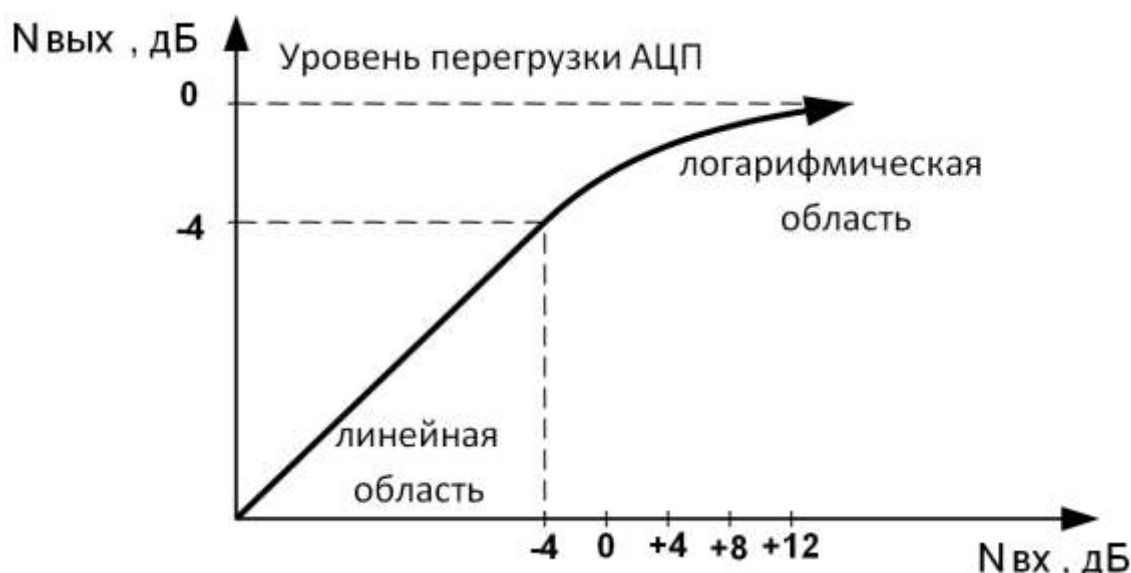


Рисунок 3.12 – Соотношение уровней сигнала до и после аналогово-цифрового преобразования с использованием системы dbx Type IV

В так называемой «логарифмической области» сигнал, реальный уровень которого гораздо больше, распределяется в диапазоне 4 дБ. Этот прием подобен эффекту компрессования звука, появляющемуся при записи высокого уровня в аналоговом виде на магнитную ленту (из-за нелинейности кривой намагничивания).

Эту аналогию иллюстрирует рисунок 3.13. Входные уровни показаны в левой части графика, а уровни преобразованного сигнала – в правой. Сигналы большого уровня плавно распределяются в области с диапазоном всего 4 дБ.

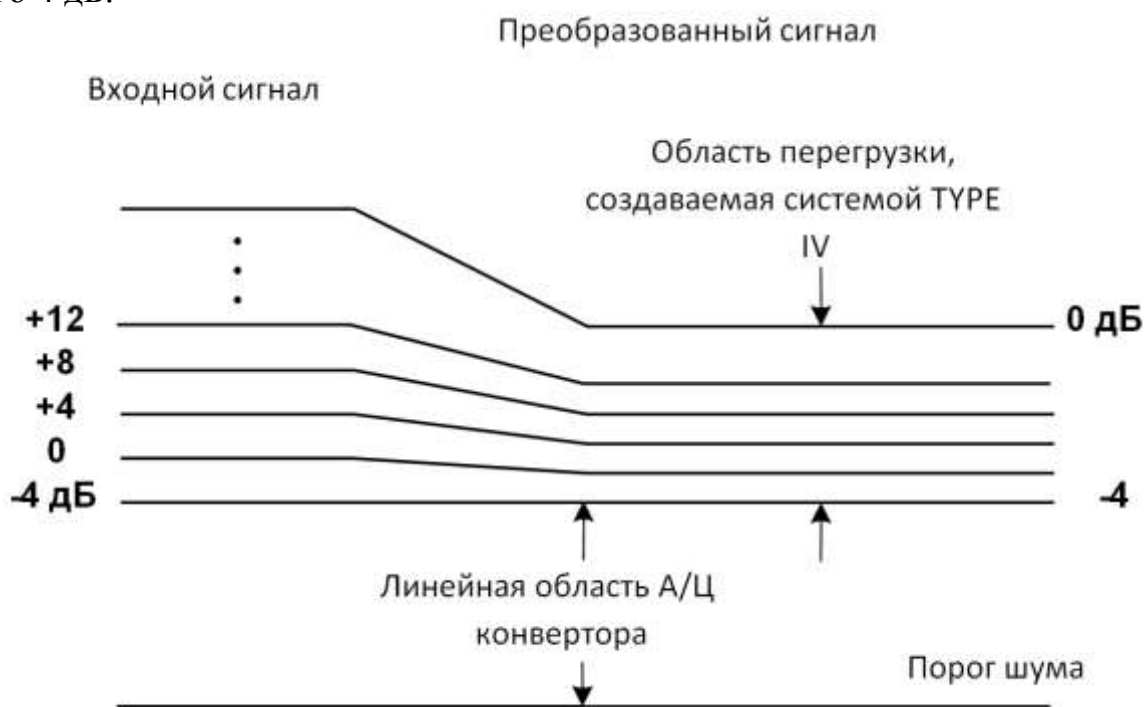


Рисунок 3.13 – Уровни входного сигнала, распределенные по области перегрузки, созданной системой Type IV

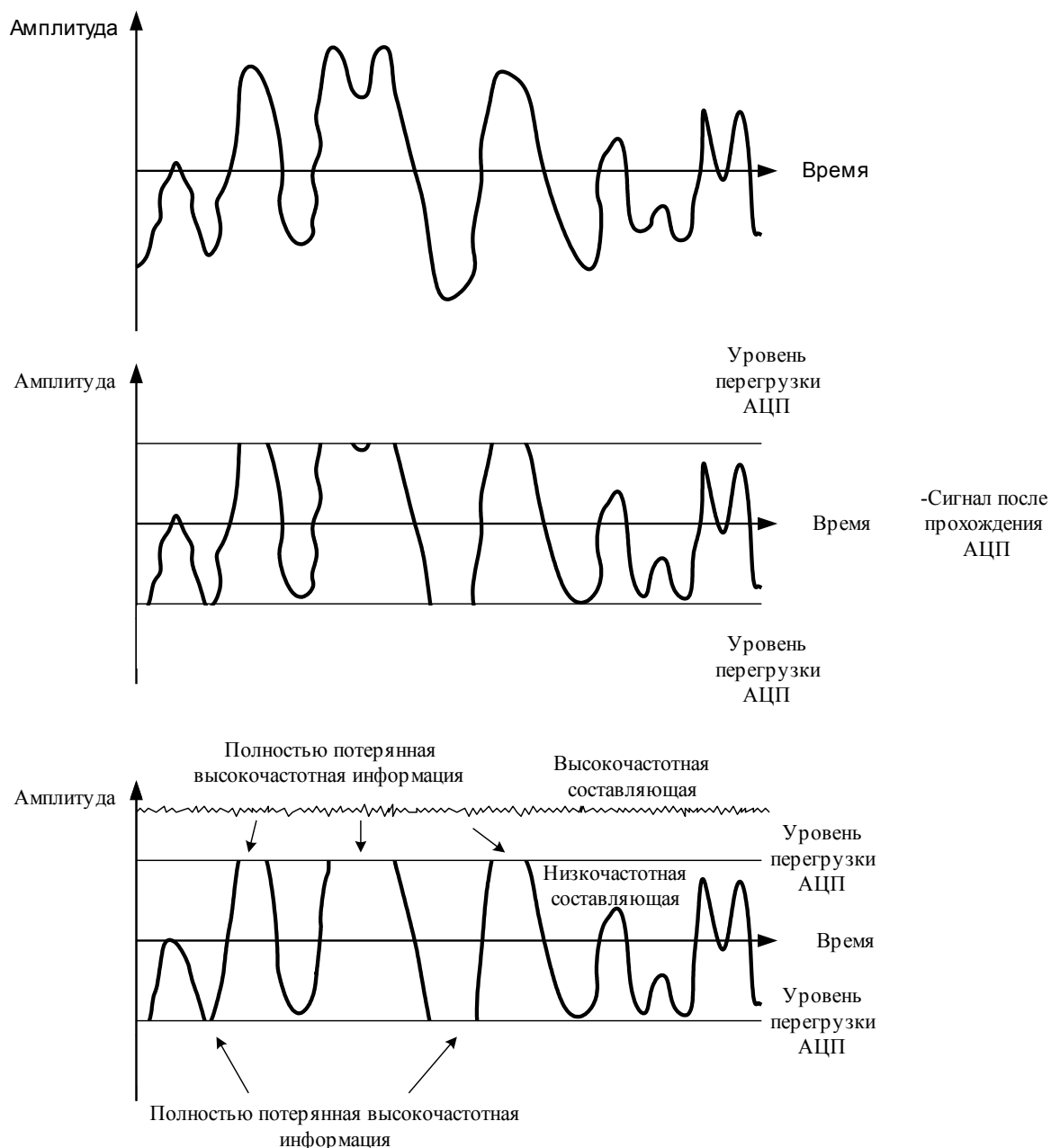


Рисунок 3.14 – Потеря ВЧ-информации, возникающая из-за прерывания А/Ц преобразования

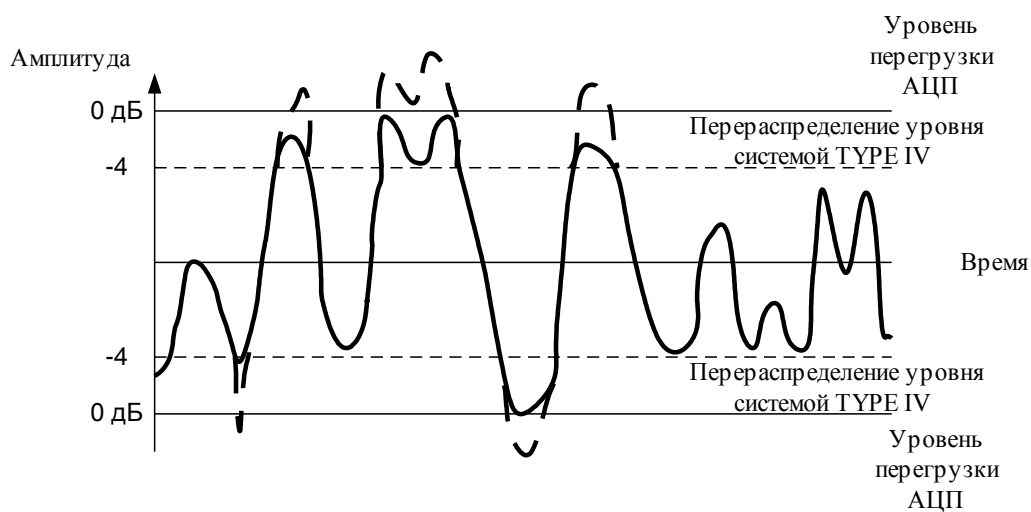


Рисунок 3.15 – ВЧ-составляющая сигнала сохранена



Еще одно преимущество логарифмического соотношения уровней, применяемого в системе Type IV – возможность сохранения высокочастотных деталей сигнала. Рисунки 3.14-3.15 иллюстрируют, что происходит с сигналом при перегрузке АЦП без применения системы Type IV.

На рисунке 3.14 представлен входной сигнал, в котором присутствуют и высокочастотные, и низкочастотные составляющие. Если АЦП перегрузится, (рисунок 3.14), из сигнала выпадет непропорциональное, по сравнению с низкочастотными, количество высокочастотных составляющих. Чтобы проиллюстрировать ситуацию подробнее, на рисунке 3.14. низкочастотные и высокочастотные составляющие разделены. Рисунок поясняет, что при перегрузке АЦП низкочастотная часть сигнала исказится, но сохранит большинство характеристик, зато высокочастотная составляющая будет потеряна полностью!

На рисунке 3.15 показано, как применяемое в Type IV перераспределение информации позволяет сохранить ВЧ-составляющие. Уровень удерживается строго в зоне перегрузки, и никогда не выпадает из нее. Пунктирные линии показывают исходный уровень входного сигнала.

Если напряжение входного сигнала ниже заданного областью перегрузки, перераспределения не происходит. Если исходное напряжение выше, то алгоритм Type IV прижимает пики сигнала, которые иначе, выходя за пределы полной шкалы, вызвали бы прерывания в А/Ц преобразовании. Именно таким образом Type IV сохраняет ВЧ-составляющие сигнала.

Преимущество системы легко услышать, включая и выключая ее во время прослушивания звукового материала с большим количеством пиков высокого уровня. При выключенном алгоритме слышны безобразные хрипы – звук перегруженного АЦП. При включенном алгоритме цифровое представление исходного сигнала будет более аккуратным и чистым. Разработчики позаботились о том, чтобы пользователь забыл о перегрузке своего АЦП, и, послушав его работу, понял, что Type IV – это не игра с уровнем шума. Просто система преобразования dbx Type IV – это грамотное сочетание наилучших аналоговых и цифровых методов обработки сигнала, позволяющее не просто использовать полный динамический диапазон звукового материала, но и поймать истинную сущность ЗВУКА.