

Технология Oversampling

Передискретизация - это способ уменьшения шума квантования путем повышения частоты выборок в несколько раз по сравнению с базовой частотой из стандартного ряда, 44,1 и 48 кГц. Коэффициент передискретизации K_{os} показывает во сколько раз повышается частота дискретизации. Этот коэффициент определяется через функцию

$$f_{ks} = f_s \cdot K_{os}, \quad K_{os} = 2^x, \quad 2 \leq x \leq 10$$

Передискретизация может быть аналоговой и цифровой.

Аналоговая передискретизация отличается только тем, что выборки делаются с повышенной частотой дискретизации f_{sk} и применяется она только в АЦП. Эти идеи используются в системе DVD-Audio, где частота дискретизации может быть 96 и 192 кГц, в системе Super Audio CD частота дискретизации еще намного выше и равна 2,88224 МГц.

Когда рассматриваются вопросы передискретизации, всегда предполагается, что в тракте используется технология «*Dithering*», осуществляющая декорреляцию ошибок квантования, при которой детерминированные ошибки квантования преобразуются в шум квантования с равномерной спектральной плотностью от 0 до частоты Найквиста f_N (рис.2).

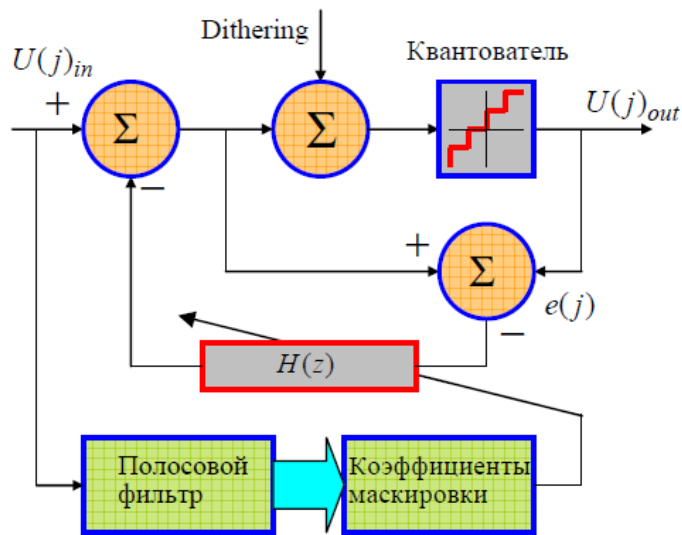


Рис.1. Реквантователь NS с психоакустической обратной связью.

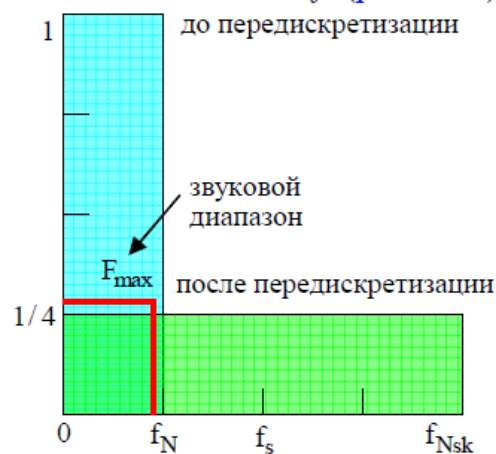


Рис. 2 Спектр шума квантования.

При равномерном законе распределения плотность вероятности шума квантования определяется равенством

$$P_D(e) = 1/Q,$$

и его эффективное значение рассчитывается по формуле

$$\bar{e}(z_q = Q/2) = \sqrt{\int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 \cdot P_D(e) \cdot d(e)} = \frac{Q}{2\sqrt{3}},$$

Модуль спектральной плотности мощности шума квантования $SD(e)$ зависит от мощности шума квантования и частоты Найквиста f_N

$$|S_D(e)| = \frac{Q^2}{12 \cdot f_N}$$

Значение SNR в цифровых звуковых трактах рассчитывается как отношение максимального эффективного синусоидального напряжения на выходе ФНЧ ИКМ демодулятора A_{\max} к эффективному значению напряжения шума квантования e

$$SNR = 20 \cdot \lg\left(\frac{\bar{A}_{\max}}{\bar{e}}\right), \text{ где } \bar{A}_{\max} = \frac{Q \cdot 2^{(q-1)}}{\sqrt{2}},$$

поэтому

$$SNR = 6,02 \cdot q + 1,76; \quad q > 1, \text{ дБ.}$$

Повышение частоты дискретизации приводит к увеличению частоты Найквиста, и, как следствие, к расширению полосы частот шума квантования до f_{Nsk} и уменьшению модуля спектральной плотности мощности, определяемого равенством

$$|S_D(e)| = \frac{Q^2}{12 \cdot f_{Nsk}}.$$

Поэтому расчетное соотношение для SNR преобразуется к виду max

$$SNR = 6,02 \cdot q + 1,74 + 10 \cdot \lg\left(\frac{f_s \cdot K_{os}}{2F_{\max}}\right), \text{ дБ,}$$

где F_{\max} - максимальная частота звукового диапазона.

Из приведенной формулы следует, что SNR увеличивается на 3 дБ при каждом удвоении частоты дискретизации. Это объясняется тем, что при увеличении частоты дискретизации спектр шума квантования расширяется и во столько же раз его спектральная плотность мощности уменьшается.

Относительно небольшое увеличение SNR сопровождается двукратным увеличением скорости цифрового потока и необходимостью двойного увеличения плотности записи. Поэтому при достаточно высокой частоте передискретизации возникают серьезные технические проблемы в ее реализации. По этой причине в ИКМ трактах при аналоговой передискретизации в модуляторе коэффициент K_{os} равен всего 2 или 4.

Использование аналоговой передискретизации позволяет в ИКМ трактах значительно упростить антиэлайзинговый аналоговый ФНЧ на входе модулятора, который предназначен для исключения возможности перекрытия спектров полезного сигнала и продуктов модуляции.

Реализация такого фильтра в обычных ИКМ трактах весьма сложна, так как у него должна быть линейная АЧХ в рабочем диапазоне и крутой спад вблизи частоты Найквиста с затуханием не менее 90 дБ. При использовании передискретизации

требования к крутизне спада этого АФНЧ существенно уменьшаются, так как существенно увеличивается частота Найквиста (рис.3), и в тоже время обеспечивается отсутствие комбинационных частот с участием ЗС.

Аналоговая передискретизация позволяет также значительно снизить требования к ФНЧ ИКМ демодулятора. Если, например, частота дискретизации равна 48 кГц, то в обычном тракте необходимо подавить частоты нижней боковой полосы 1 порядка выше 24 кГц. Это может быть выполнено лишь весьма сложным ФНЧ 7...11 порядка. При 2-х кратной передискретизации граница нижней боковой полосы повышается до $1,5 f_{Nsk} = 72$ кГц (рис.3) и проблем с созданием ФНЧ не возникает.

При высокой частоте дискретизации целесообразно в ИКМ трактах частоту среза ФНЧ на выходе демодулятора увеличивать до 25...40 кГц. При этом SNR становится меньше,

но зато расширяется полоса звуковых частот.

Звучание становится более прозрачным, за счет уменьшения частотно-фазовых искажений на верхней границе звукового диапазона. В некоторых публикациях по этому поводу авторы полагают, что можно использовать на выходе демодулятора ИКМ простые ФНЧ, как, например, фильтр Чебышева 3 порядка. Крутизна среза у них мала, но они обеспечивают хорошее подавление высокочастотных составляющих спектра

модуляции. При этом забывается, что ФНЧ предназначен еще для накопления и интерполяции выборок при реконструкции ЗС, поэтому его постоянная времени не может быть малой, иначе возникнут значительные нелинейные искажения.

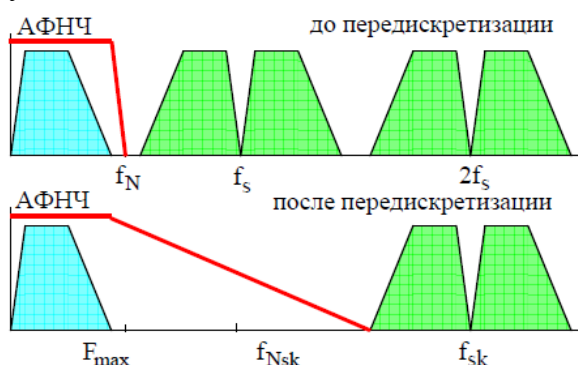


Рис.3. Спектры АИМ при передискретизации

Цифровая передискретизация прежде всего используется в ЦАП на основе сигмадельта модуляции с коэффициентом K_{os} до 128 и даже 1024 крат, так как при этом отсутствуют проблемы, связанные со скоростью цифрового потока и плотностью записи. Надо обратить внимание на то, что передискретизация увеличивает коэффициент корреляции между последовательными отсчетами. Это обеспечивает большую точность работы интерполяционных фильтров. По этой причине операция декорреляции ошибок квантования производится после фильтрации.

Существуют **два способа цифровой передискретизации**. В первом варианте между уже существующими цифровыми выборками вводятся дополнительные, рассчитанные путем интерполяции. Другой способ получения значений промежуточных значений выборок состоит во вставке нулевых выборок, после чего вся последовательность подвергается цифровой фильтрации.

Цифровые фильтры с предварительным расчетом интерполированных выборок имеют хорошие технические характеристики, но для них требуется значительная вычислительная мощность и они дороги. В CD проигрывателях с такими фильтрами присутствует надпись «18 bit 20'Oversampling». Это значит, что используется 20-ти кратная передискретизация, при которой SNR соответствует 18 разрядному кодированию.

Цифровые фильтры на основе введения нулевых выборок значительно проще и дешевле. Однако, при фильтрации в них возникают специфические помехи.

Базовые цифровые фильтры выпускаются с коэффициентом передискретизации 2, 4 и 8 крат. При необходимости они могут включаться последовательно с максимальным общим коэффициентом передискретизации до 1024. Число разрядов на выходах фильтров может быть от 17 до 28, поэтому требуется их усечение. При использовании цифровой передискретизации в ЦАПах ИКМ трактов полностью справедливы приведенные выше формулы для SNR . Из этих формул следует, что передискретизация позволяет использовать ЦАПы с меньшим числом разрядов без ухудшения SNR . При этом каждое уменьшение кодового слова на один разряд (6 дБ) может компенсироваться двукратным повышением частоты дискретизации. Например, для того чтобы вместо 16-ти разрядного ЦАПа использовать более дешевый 10-ти разрядный ЦАП, частоту дискретизации следует увеличить в 64 раза. При этом потребуются ЦАП с быстродействием во столько же раз большим, что обойдется еще дороже. Поэтому такой вариант использования передискретизации не нашел широкого практического применения.

Задание : рассчитать модуль спектральной плотности шумовой составляющей для случая $q=9$

$$F_{\text{max}}=20\text{KHz}$$