

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Гоц С.С.

Башкирский государственный университет,
кафедра физической электроники,
450074, г. Уфа, ул. Фрунзе, 32
тел. (3472)-23-65-74, E-mail GhotsSS@ic.bashedu.ru, g_ss@rambler.ru

В настоящее время трудно указать на такие области технических приложений, в которых бы не использовались методы цифровой обработки сигналов (ЦОС). Системы звукозаписи одними из первых стали переходить на цифровые методы обработки сигналов. На первом этапе такие новации повысили удобства поиска и распределения первичной информации в виде стандартных цифровых потоков. На втором этапе появилась возможность сжатия объема цифровых потоков и файлов данных. Наряду с неоспоримыми преимуществами, достигаемыми применением цифровой обработки звуковых сигналов, необходимо обратить внимание и на определенные недостатки повсеместного применения цифровых технологий. В первую очередь эти недостатки связаны с тем, что ЦОС сопровождается специфическими искажениями параметров первичных сигналов.

При создании новых цифровых систем записи, обработки и передачи звуковых сигналов основная задача ставится не на снижения уровня искажений, а на снижение заметности этих искажений. В цифровой телефонии, например, в первую очередь стремятся к уменьшению скорости цифрового потока в расчете на один первичный канал, снижению уровня помех и паразитных составляющих сигнала. Существенно меньшее внимание уделяется правильности передачи динамического диапазона, искажениям АЧХ и ФЧХ первичного сигнала. Разработчикам, производителям и дилерам по продаже цифрового оборудования совершенно невыгодно указывать на недостатки цифровой аудио техники. В расчете на неосведомленность потенциальных потребителей в рекламе на цифровое оборудование типичной стала реклама с ключевой фразой “Цифровое качество звука”.

Следует отметить, что современные потребители вполне хорошо осведомлены как о преимуществах, так и о недостатках тех или иных цифровых систем обработки сигналов. Что касается инженерно-технических работников, занятых разработкой, эксплуатацией и продвижением аудиосистем, то учебные программы их подготовки часто не предусматривают подробного изучения искажений сигналов, связанной с ЦОС. В ряде случаев это может привести к серьезным недоразумениям, неоправданностью финансовых затрат, неправильным выбором оборудования и технических решений, безвозвратной потерей художественного облика архивных аудиозаписей.

Как различные виды искажений ЦОС влияют на субъективное восприятие звука? Попробуем разобраться в этом, проведя классификацию основных видов искажений по пяти видам. Попутно выясним, как учитываются в современных стандартах цифровой записи звука (без компрессии с потерей информации) указанные виды искажений.

1. Искажения, связанные с дискретизацией сигнала во времени

При дискретизации сигнала во времени спектр исходного сигнала трансформируется в совокупность спектров исходного сигнала, сдвинутых относительно друг друга на целое число частот дискретизации. Если верхняя граничная частота f_g исходного сигнала превышает половину частоты дискретизации, то спектральные компоненты из соседних спектральных окон, накладываясь друг на друга, создают эффект «наложения частот» [1]. Желание как можно сильнее приблизить f_g к половине частоты дискретизации диктует невыполнимое для массовой аппаратуры требование применения ФНЧ очень высоких порядков. Как правило, подобные ФНЧ могут быть реализованы как цифровые фильтры с частотами дискретизации, в несколько раз превышающими частоту дискретизации исходного сигнала. Применение таких технологий пока не оправдывается финансовыми затратами. В связи с этим подавляющее число современных аппаратов с ЦОС и частотой дискретизации 44.1 кГц имеют АЧХ с завалом на высоких частотах, начиная с 10 – 12.5 кГц.

2. Искажения, вызванные квантованием сигнала по уровню. Шумы квантования

В современной цифровой аппаратуре этот вид искажений снижен до вполне приемлемых уровней. В высококачественных системах записи звука (музыки) это достигается применением линейных АЦП и ЦАП с большим количеством двоичных разрядов (от 16 до 24). В цифровых системах записи речи и цифровой телефонии малый уровень шумов квантования достигается применением функциональных АЦП и ЦАП [2], а также систем амплитудной компрессии сигнала [3].

3. Апертурные искажения. Дрожание фазы

Применение АЦП с малыми апертурными временами выборки (порядка 20 нс) в совокупности с буферными устройствами запоминания и выравнивания скорости цифровых потоков позволяет снизить этот вид искажений в цифровых системах записи звука до вполне приемлемых уровней. Более сложным оказывается уменьшение дрожания фазы тактовых генераторов в телекоммуникационных системах реального времени, в которых ограничены допустимые максимальные задержки сигнала во времени. К сожалению, в системах передачи дискретных сообщений дрожание фазы хронизирующего сигнала

регламентируется лишь исходя из аспектов правильной передачи совокупности последовательностей дискретных кодов [3], а не времени поступления каждого отсчетного значения конечному получателю информации. В связи с этим в системах цифровой передачи информации (например, в существующем цифровом телевидении) качество звука по высоким частотам оставляет желать лучшего.

4. Искажения, возникающие за счет конечного времени одной анализируемой или передаваемой реализации. Краевые искажения.

Данный вид искажений хорошо подавляется в системах с непрерывной конвейерной обработкой информации (без предварительного накопления информации в буфер с последующей остановкой на обработку). Если не считать сбойных моментов, связанных с временными перегрузками процессора обработки сигналов или с возникновением сбоев в канале связи, краевые искажения не являются проблемными для современных систем цифровой обработки звуковых сигналов.

5. «Эффект частотокола» при цифровой обработке звуковых сигналов

Не многие, наверно, задумывались о том, почему во всех формулах дискретного преобразования Фурье строго регламентированы частоты, для которых вычисляются преобразованные компоненты. «Дозволенными» являются частоты $f_k = k/T$, которые кратны обратному значению длительности T выборки. Спектральный анализ на промежуточных («недозволенных») частотах f по отношению к f_k приводит к заниженным значениям спектральных компонент [4]. Данное явление получило название «эффекта частотокола».

В процессе тестовых испытаний характеристик непрерывной цифровой обработки стационарных случайных процессов «эффект частотокола» является несущественным в силу относительно больших значений T . В реальных ситуациях при анализе мгновенных спектров нестационарных случайных процессов величина T становится переменной и определяется длительностью сигналов с заданными уровнями. Учитывая нестационарный характер большинства звуковых сигналов, несложно прийти к выводу о том, что «эффект частотокола» должен существенным образом искажать музыкальные записи. Особенно заметно данный вид искажений должен проявляться на высоких частотах. Например, сильно ухудшается звучание бубенцов, колокольчиков, тарелок в ударных инструментах, женских голосов в верхних регистрах частотного диапазона.

Повсеместное распространение цифровой звукозаписи привело к изменению типичного набора музыкальных инструментов. Стали большой редкостью неправильно воспроизводимые в цифровой записи ударные инструменты, появились синтезаторы звука, обертоны которых строго привязаны к частоте дискретизации цифровой записи.

Заключение

На протяжении десятков лет существовали стандарты профессиональной студийной звукозаписи, которые существенно превосходили по своим требованиям уровень, предъявляемых к бытовой звукозаписывающей аппаратуре. Более жесткие требования к характеристикам звукозаписи студийной аппаратуры достигались, например, более высокой скоростью звукозаписи и применением более качественных механических и электронных трактов. С появлением цифровых систем звукозаписи ситуация в корне изменилась. По существу, бытовой стандарт цифровой звукозаписи на волне рекламы о «цифровом качестве звука» без соответствующих экспертных оценок был принят на большинстве радиостанций FM диапазона и в телевизионных студиях. Все это привело к резкому ухудшению качества звука эфирного вещания, прежде всего, музыкальных радиостанций и звукового сопровождения телевизионных программ.

Учитывая сложность реализации высококачественной студийной аппаратуры с частотой дискретизации 44.1 кГц по каждому из каналов, необходима разработка и повсеместное внедрение новых стандартов студийной звукозаписи с адаптивной частотой дискретизации в пределах не менее 192 кГц по каждому из каналов.

Литература

1. Гоц С.С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. Второе издание. - Уфа, 2004. - 168 с.
2. Хисматуллин Д.С., Гоц С.С. Нелинейные ЦАП и АЦП для цифровой обработки сигналов. - Материалы докладов 2-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение», М.: 1999. С. 333-338
3. Многоканальные системы передачи. Под ред. Н.Н.Баевой и В.Н.Гордиенко. - М.: Радио и связь, 1996. - 560 с.
- Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Погрешности и параметры спектрально-корреляционного анализа. - М.: Радио и связь, 1984. 160 с.