

УДК 621.396.97:621.376.037.372

Рудый Е.М.

ТРЕБУЕМЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ

Аннотация. Рассмотрена методика оценки динамического диапазона цифровых сигналов звукового вещания по критерию допустимых нелинейных искажений. Обосновано требуемое соотношение между динамическими диапазонами цифровых и аналоговых сигналов звукового вещания.

Введение

В работе [1, с. 133] отмечается, что методика оценки динамического диапазона цифровых сигналов по критерию допустимых нелинейных искажений не разработана, а в литературе часто делают ошибочные выводы о возможности передавать с помощью цифровой техники полный динамический диапазон натуральных звучаний сигналов. Ниже рассмотрены основные положения разработанной методики оценки динамического диапазона цифровых сигналов звукового вещания по критерию допустимых нелинейных искажений. Основной составляющей продуктов нелинейных искажений при цифровой обработке сигналов являются шумы квантования, они же определяют защищенность от невзвешенных шумов тракта формирования программ.

При двухуровневом кодировании динамический диапазон D_1 цифровых сигналов в децибелах определяют как [1, с. 133]

$$D_1 = 6(n-1), \quad (1)$$

где n – число разрядов при равномерном квантовании.

Если величина D_1 известна, то необходимое число разрядов

$$n \geq \left(\frac{D_1}{6} + 1 \right). \quad (2)$$

При определении количества разрядов по формуле (2) величина $D_1/6$ округляется до ближайшего целого числа, а единица добавляется потому, что один разряд необходим для передачи знака отсчета сигнала ("плюс" или "минус").

Динамический диапазон D аналоговых сигналов определяют как

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{кв.макс}}}{U_{\text{кв.мин}}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{кв.макс}}$, $U_{\text{кв.мин}}$ – квазимаксимальное и квазиминимальное значения напряжений звуковых сигналов соответственно.

Очевидно, что динамический диапазон цифровых сигналов должен быть больше динамического диапазона аналоговых сигналов, но каким должно быть соотношение между этими диапазонами в литературе не описано. Отсутствие такого соотношения не позволяет обоснованно указать место включения аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в тракте формирования программ и выбрать необходимое число разрядов АЦП. Позже будет показано, что необоснованный выбор места включения АЦП может привести к заметности шумов квантования даже в том случае, когда использовать 18-разрядные АЦП.

Слуховое восприятие шумов квантования зависит от вида сигнала. Если передают сигналы гласных звуков речи, хора, оркестра, то шумы квантования воспринимаются слухом как шумовая помеха. При передаче сигналов отдельных инструментов и гласных звуков речи ощущаются призвуки в тех участках спектра, где полезные сигналы малы.

При наличии полезного сигнала мощность шумов квантования $P_{\text{шк}}$, развиваемая на сопротивлении 1 Ом, будет [2, с. 51]

$$P_{\text{шк}} = \frac{\Delta^2}{12}, \quad (4)$$

где Δ – шаг квантования.

При увеличении полезных сигналов заметность шумов квантования уменьшается, поскольку они маскируются сигналом.

Во время паузы мощность шумов квантования $P_{\text{шп}}$ будет [3, с. 217]

$$P_{\text{шп}} = \frac{\Delta^2}{4}. \quad (5)$$

По действующему ГОСТ 11515-91 шумы квантования не нормируются, но нормируется защищенность от невзвешенного шума, которая на выходе центральной аппаратной радиодома должна быть не менее 66 дБ [4, с. 14]. Поскольку динамический диапазон вещательных сигналов не должен превышать 40 дБ, то отношение квазиминимальных значений сигналов к невзвешенным шумам на выходе центральной аппаратной должно быть не меньше $66 - 40 = 26$ дБ.

Из формул (4) и (5) видно, что мощность шумов квантования при передаче паузы больше, чем мощность шумов квантования при передаче полезных сигналов. Поскольку отношение квазиминимальных значений сигналов к невзвешенным шумам при передаче цифровых сигналов должно быть не меньше, чем при передаче аналоговых сигналов, то

$$10 \lg \frac{U_{\text{кв.мин}}^2}{\frac{\Delta^2}{4}} \geq 26 \text{ дБ}. \quad (6)$$

Отсюда

$$20 \lg \frac{U_{\text{кв.мин}}}{\Delta} \geq 20 \text{ дБ}. \quad (7)$$

Поскольку по определению динамический диапазон цифровых сигналов

$$D_1 = 20 \lg \frac{U_{\text{кв.макс}}}{\Delta}, \quad (8)$$

то, учитывая формулы (3), (7), (8), можно записать

$$D_1 \geq (D + 20). \quad (9)$$

Формула (9) позволяет определить требуемый динамический диапазон цифровых сигналов при заданном динамическом диапазоне аналоговых сигналов на входе АЦП. При этом защищенность от невзвешенных шумов (в данном случае шумов квантования) будет удовлетворять ГОСТ 11515-91.

Используя формулы (2) и (9), получим

$$n \geq \left(\frac{D + 20}{6} + 1 \right). \quad (10)$$

Если, к примеру, установить АЦП на выходе микрофонного усилителя и рассчитывать на полный динамический диапазон слышимых звуковых сигналов, то потребуется следующее количество разрядов:

$$n \geq \left(\frac{130 + 20}{6} + 1 \right) \geq 26.$$

Создание АЦП с 26-разрядным кодированием представляет собой сложную техническую задачу, а необходимость решения этой задачи отпадает, если в аналоговой части тракта формирования программ уменьшить динамический диапазон сигналов.

Следовательно, в тракте формирования программ звукового вещания и в будущем целесообразно сохранить аналоговых устройства, уменьшающие динамический диапазон сигналов. К этим устройствам относятся ручные и автоматические регуляторы уровней, компрессоры, усилители-ограничители.

На данном этапе развития техники устанавливать АЦП после микрофонного усилителя нецелесообразно. Необходимо вначале уменьшить динамический диапазон сигналов и только затем выполнять аналого-цифровое преобразование сигналов.

Если $D = 40$ дБ, то, как видно из формулы (10), $n \geq 11$.

В студийной аппаратуре используется, в основном, 16-разрядное равномерное квантование, что обеспечивает значительно большее отношение сигнал/шум квантования, чем это предусмотрено действующими нормами, если все регулировки динамического диапазона выполнены в аналоговой части аппаратуры.

Используя условие (10), получим

$$D \leq (6(n - 1) - 20). \quad (11)$$

Заключение.

Формула (11) позволяет определить тот входной динамический диапазон сигналов АЦП с n -разрядным квантованием, при котором на выходе АЦП отношение квазиминимальный сигнал/шум квантования будет не меньше 26 дБ. Если $n = 16$, то $D \leq 70$ дБ, т.е. АЦП в студийной аппаратуре можно устанавливать только там, где ожидаемый динамический диапазон аналоговых сигналов не превышает 70 дБ.

В работе [5, с. 37] сообщается, что динамический диапазон таких новых видов передач, как поп-музыка, доходит до 90-110 дБ, поэтому динамический диапазон сигналов необходимо уменьшать в аналоговой части тракта. Предполагается, что развитие схмотехнической и микрорелектронной технологий позволит в будущем увеличить число разрядов АЦП до 20 [1, с. 220], но и в этом случае, как видно из формулы (11), нельзя обойтись без регулировки динамического диапазона сигналов перед подачей их на АЦП.

Литература

1. Звуковое вещание: Справочник/Выходец А.В., Жмурин П.М., Зорин И.Ф. и др./ Под ред. Ю.В. Ковалгина.-М.: Радио и связь, 1993.-464 с.
2. Дворецкий И.М., Дриацкий И.Н. Цифровая передача сигналов звукового вещания.-М.: Радио и связь, 1987.-192 с.
3. Радиовещание и электротехника: Учебник для вузов/Выходец А.В., Гитлиц М.В., Ковалгин Ю.В. и др./ Под ред. М.В. Гитлица. - М.: Радио и связь, 1989. - 432 с.
4. ГОСТ 11515-91. Каналы и тракты звукового вещания. Основные параметры качества. Методы измерений. Введ. 01.07.92.-М.: Изд-во стандартов, 1991.-42 с.
5. Акустика: Справочник/ А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров / Под ред. М.А. Сапожкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1989.-336.