

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.518.3 : 681.335.087.92

Н. А. ВАСИЛЬЕВ, А. Е. ИЛЬИН, С. Я. ПЧЕЛИНЦЕВ  
(Москва)

ВЫБОР ТИПА И РАЗРЯДНОСТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Важнейшими параметрами аналого-цифровых преобразователей (АЦП) являются точность и быстродействие. Эти параметры взаимозависимы: уменьшение погрешности почти всегда приводит к увеличению времени преобразования [1].

Прогрессирующая тенденция унификации применяемых АЦП делает весьма актуальной задачу создания такого АЦП, который по совокупности параметров точности и быстродействия мог бы заменить все выпускаемые сейчас преобразователи. Доказательство технической возможности или невозможности создания такого преобразователя представляет значительный теоретический и практический интерес.

Улучшение параметров АЦП происходит по двум направлениям: параметрическому и структурному. Основные успехи при этом связаны с параметрическим направлением, которое базируется на совершенствовании технологии интегральных схем (ИС) и схемотехники компонентов АЦП, использовании новых физических эффектов. Структурное направление позволяет улучшить параметры как АЦП в целом, так и его узлов за счет алгоритмической и компоновочной организации.

Принимаемые в рамках указанных направлений меры позволяют в значительной степени нейтрализовать дестабилизирующее влияние многих источников погрешностей, а значит, и сделать несущественными соответствующие погрешности АЦП [1]. Однако изложенное не относится к следующим двум погрешностям: погрешности квантования по уровню; случайной погрешности, являющейся следствием шумов в элементах АЦП и проявляющейся в стохастическом характере преобразования  $z \rightarrow i$ , где  $z$  — преобразуемая непрерывная величина,  $i$  — номер уровня шкалы АЦП.

Указанные погрешности наличествуют всегда, так как, во-первых, в самом принципе действия АЦП заложено квантование по уровню, во-вторых, в реальных приборах всегда имеют место шумы и помехи.

Очевидно, что по мере увеличения разрядности АЦП погрешность квантования уменьшается. Однако при фиксированном времени преобразования увеличение разрядности АЦП приводит к росту случайной погрешности. Механизм последней зависимости специфичен для различных типов АЦП. Так, в АЦП поразрядного кодирования это связано с уменьшением времени выполнения отдельных этапов преобразования (преобразования на каждой из шкал). В АЦП, работающих по методу считывания, увеличение случайной погрешности приводит к росту вероятности возникновения запрещенных в единичном коде комбинаций. Сходные эффекты наблюдаются и в АЦП, работающих по методу счета [2].

Касаясь вопроса выбора разрядности АЦП, Э. И. Гитис и Е. А. Пискулов отмечают: «...обычно число разрядов в коде, а следовательно, и значение кванта выбираются в соответствии с уровнем шумов, так как если среднее квадратическое значение шума значительно превосходит квант, то, значит, число разрядов в АЦП выбрано слишком большим и показания нескольких младших разрядов будут недостоверными. С другой стороны, если среднее квадратическое значение шума значительно меньше кванта, то преобразователь получается искусственно «загрубленным», т. е. в нем не будут реализованы потенциальные возможности по точности преобразования [2]. Другие авторы [3] либо вообще не касаются данного вопроса, считая число разрядов заданным априори, либо только указывают на связь быстродействия в точности АЦП. Таким образом, в распоряжении разработчика АЦП имеются только качественные рекомендации по выбору разрядности, что обусловлено несовершенством самой методологии рассмотрения проблемы, проявляющимся в отсутствие количественных показателей правильности выбора разрядности АЦП.

Цель настоящей работы — иллюстрация методологии выбора разрядности АЦП на этапе его проектирования с учетом шумовых характеристик элементной базы при фиксированном времени преобразования.

Принимая во внимание наличие случайной погрешности в качестве показателя достоверности преобразования, целесообразно использовать величину доверительного интервала результата преобразования при фиксированном уровне доверительности

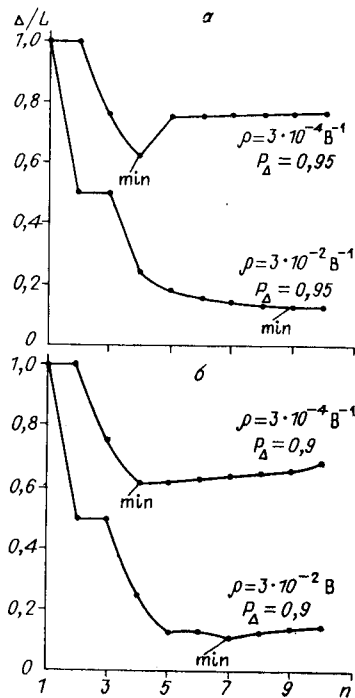


Рис. 1

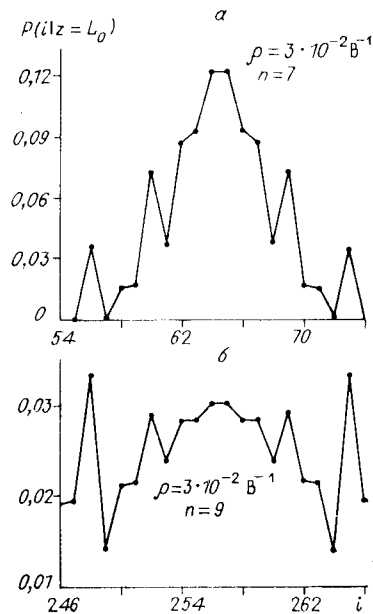


Рис. 2

вероятности. Вследствие нелинейности аналого-цифрового преобразования от значения преобразуемой непрерывной величины  $z$  зависят как погрешность квантования, так и закон распределения случайной погрешности. Это приводит к необходимости расчета величины доверительного интервала для наихудшего случая, а именно для случая совпадения  $z$  с одним из уровней квантования  $L_i = iq$  (предполагается, что идеальное преобразование выполняется по правилу  $z \rightarrow i: (i-1)q < z < iq$ , где  $q$  — шаг квантования). При последующем анализе будем полагать нижнюю и верхнюю границу шкалы АЦП согласованной с диапазоном возможных значений  $z$  с тем, чтобы пренебречь возможностью изменения закона распределения случайной погрешности по мере приближения к границам шкалы.

В самом общем случае точность всех видов АЦП зависит от точности входящих в их состав преобразователей кода в напряжение, усилителей постоянного тока (УПТ) и схем сравнения (СС). Все остальные узлы АЦП являются цифровыми и не влияют на точность преобразования, если только данный узел не имеет грубого повреждения и нормально выполняет свои функции.

Поскольку быстродействие цифровых узлов АЦП соответствует быстродействию выбранной (имеющейся в наличии) элементной базы и требуемому числу последовательно выполняемых этапов преобразования, то управление быстродействием и точностью АЦП может осуществляться путем изменения полосы пропускания (а значит, и постоянных времени) УПТ, СС, суммирующих и вычитающих аналоговых устройств и (или) числа последовательно выполняемых этапов преобразования непрерывных и цифровых данных.

В рамках введенного ограничения на постоянство времени преобразования повышение разрядности для каждого из типов АЦП связано с пропорциональным ростом полосы пропускания аналоговых устройств АЦП, а значит, и дисперсии флуктуационных шумов на выходе каждого из них, что, в свою очередь, приводит к возрастанию случайной погрешности при уменьшении ошибки квантования. Противоречивость указанных тенденций при учете аддитивности данных ошибок обуславливает существование оптимального для выбранной элементной базы числа разрядов АЦП, обеспечивающего минимизацию величины доверительного интервала результата преобразования при фиксированном уровне доверительной вероятности. Конкретизация элементной базы при анализе уровня флуктуационных шумов предполагает в первую очередь акцентирование внимания на шумовой температуре как отдельных элементов, так и аналоговых устройств в целом.

Применительно к АЦП, работающему по методу поразрядного кодирования, для различных уровней доверительной вероятности  $P_\Delta$  были получены представленные на рис. 1, а, б зависимости величины доверительного интервала  $\Delta$  от разрядности АЦП. Шумовые свойства элементной базы характеризовались отношением

$$\rho = Lt_{np}/N_0,$$

где  $L$  — размер шкалы АЦП;  $t_{пр}$  — время преобразования;  $N_0$  — спектральная плотность белого шума на выходе УИТ.

Анализ графиков, представленных на рис. 1, показывает зависимость оптимального числа разрядов АЦП не только от параметра  $\rho$  (этого следовало ожидать), но и от уровня доверительной вероятности.

Подобные зависимости могут быть построены и для других типов АЦП, что позволит на этапе проектирования осуществлять выбор как типа АЦП, так и его разрядности, минимизируя показатель достоверности.

На рис. 2, *a, б* представлены вероятности  $P(i|z = L_0)$ , где  $L_0$  — уровень квантования, находящийся в середине шкалы АЦП как функции номера уровня квантования  $i$  при оптимальном значении разрядности АЦП. Из последних зависимостей следует интересный вывод, что при оптимальной разрядности АЦП функцией параметра  $\rho$  является также и достоверность отдельного разряда.

Таким образом, выбор типа и разрядности АЦП для достижения его наилучших точностных показателей при фиксированном времени преобразования должен осуществляться с учетом не только шумовых характеристик элементной базы, но и заданных требований по уровню доверительной вероятности результата преобразования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Высокопроизводительные преобразователи формы информации**/А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев.— Киев: Наук. думка, 1987.
2. **Гитис Э. И., Пискулов Е. А. Аналого-цифровые преобразователи.**— М.: Энергоиздат, 1981.
3. **Аналого-цифровые преобразователи с переменной значностью**/Ю. В. Мельничук, М. А. Раков, В. С. Якушев.— Киев: Наук. думка, 1988.

Поступило в редакцию 12 мая 1989 г.

УДК 621.3.049.771.12 : 621.396.96(088.8)

Х. И. КЛЯУС, А. И. КОЗЛОВ, В. П. МУСЛИВЕЦ, Е. И. ЧЕРЕПОВ  
(Новосибирск)

### ПЯТИТОЧЕЧНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ СВЕРТЫВАТЕЛЬ НА ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Многие методы обработки сигналов включают двумерную свертку изображения и матрицы весовых коэффициентов (опорного сигнала). Для большинства алгоритмов сокращения объема передаваемой информации, фильтрации сигналов, подавления импульсных помех, выделения на изображении точечных целей и перепадов яркости (контуров) размер взвешивающей матрицы обычно не превышает  $5 \times 5$  элементов [1—3]. Вычисление свертки видеосигнала и весовых коэффициентов в реальном масштабе времени могут осуществлять аналоговые устройства на приборах с зарядовой связью (ПЗС). Например, при организации поточного вычис-

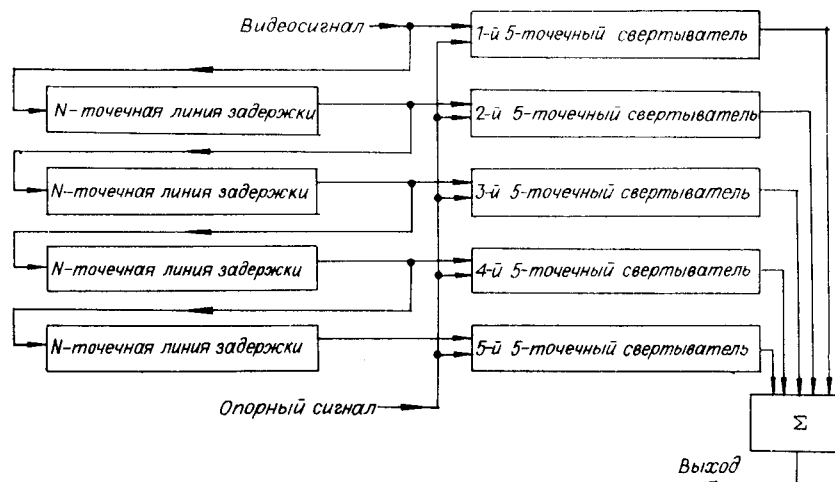


Рис. 1. Организация вычислительного процесса в виде «скользящего окна»:  $N$  — число элементов в строке исходного изображения