

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.325.3

В. А. АЛЕКСЕЕВ

(Новосибирск)

К ОЦЕНКЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Часто аналого-цифровые преобразователи (АЦП) работают в таких условиях, когда на входной сигнал $x(t)$ действует помеха, в частности импульсная, $\eta(t)$. Это приводит к тому, что при измерении сигнала

$$z(t) = x(t) + \eta(t)$$

результат измерения может отличаться от $x(t)$ больше, чем на $\pm \frac{\Delta}{2}$ (Δ — шаг квантования).

Очевидно, что при таких условиях работы АЦП исследователю важно знать не только сам факт отличия результата измерения от истинного значения, но и степень этого несоответствия [1]. В этом случае наиболее полной характеристикой является закон распределения погрешности АЦП, зависящий от законов распределения $x(t)$, $\eta(t)$ и закона функционирования АЦП.

В [2] была предложена методика построения закона распределения погрешности, а в [3] приведены результаты вычислений этого закона для приборов поразрядного и развертывающего уравнивания, когда а) число двоичных разрядов АЦП равно 10; б) законы распределения $x(t)$ и $\eta(t)$ равномерные; амплитуда помехи равна $\pm 3\Delta$; в) действия помехи на каждом такте сравнения независимы друг от друга.

Представляют интерес законы распределения ошибок для других АЦП. Ниже рассмотрены АЦП следящего и программного уравнивания (двухканальный АЦП). При этом сохранены условия работы [3], что дает возможность сопоставлять полученные результаты с приведенными в [3].

Отметим, что для АЦП совпадения закон распределения погрешности будет являться композицией законов распределения помехи $\eta(t)$ и погрешности дискретности.

АЦП следящего уравнивания

Метод следящего уравнивания может быть реализован в АЦП с устройством сравнения (УС), выходной сигнал которого принимает два («больше», «меньше») или три («больше», «равно», «меньше») состояния.

Для АЦП, имеющего УС, выходной сигнал которого принимает два состояния, компенсационное напряжение после каждого такта сравнения обязательно изменяется в ту или иную сторону на один шаг квантования Δ независимо от значения разности U_x и U_k . Результат измерения выдается после каждого сравнения. Как показывает анализ, закон распределения погрешности, обусловленный импульсной помехой, будет зависеть от числа тактов, прошедших после появления помехи и амплитуды помехи. В общем случае число тактов, необходимых для определения закона распределения погрешности, может быть принято равным

$$m = 2|\eta| + 1,$$

где $|\eta|$ — модуль амплитуды помехи.

Закон распределения погрешности на последующих тактах практически не изменяется. Результаты расчета вероятностей того, что результат измерения примет зна-

Таблица 1

Номер интервала	$k-3$	$k-2$	$k-1$	k	$k+1$	$k+2$	$k+3$
-----------------	-------	-------	-------	-----	-------	-------	-------

чение k -го интервала для чередующихся тактов сравнения, а также в среднем по шкале, приведены в табл. 1.

В рассматриваемом АЦП на каждом втором такте вероятность попасть компенсационному напряжению в произвольный k -й интервал шкалы равна нулю.

При использовании в АЦП устройства сравнения, выходной сигнал которого принимает три состояния, компенсационное напряжение в отличие от предыдущего может оставаться неизменным после любого сравнения. Тем самым обеспечивается возможность попадания компенсационного напряжения во все интервалы квантования на любом такте.

Результаты расчета закона распределения погрешности для любого кванта шкалы приведены в табл. 2. Эти значения одновременно являются и средними значениями вероятностей.

Таблица 2

Номер интервала	$k-3$	$k-2$	$k-1$	k	$k+1$	$k+2$	$k+3$
P	0,001	0,062	0,251	0,381	0,251	0,062	0,001

Двухканальный АЦП

Одним из возможных путей повышения помехоустойчивости АЦП является введение структурной избыточности. Поэтому интересно оценить помехоустойчивость двухканального АЦП [4], в котором благодаря введению избыточности структуры наряду с другими характеристиками улучшается и помехоустойчивость.

Двухканальный АЦП содержит два устройства сравнения, выходные сигналы которых совместно управляют переключением двух компенсационных напряжений. Алгоритм работы АЦП позволяет многократно проходить значениям компенсационных напряжений через область нахождения измеряемого сигнала. Поэтому, если на каком-либо такте сравнения помеха вызовет появление неправильных сигналов устройства сравнения, то на последующих тактах сравнения ошибка, вызываемая этими сигналами, может быть исправлена.

Аналізу подвергался двухканальный АЦП, алгоритм работы которого несколько отличается от алгоритма, описанного в [4]. Это отличие заключается в том, что особенными являются пути изменения компенсационных напряжений только на одном последнем такте. Пути изменений компенсационных напряжений приходят в одну точку шкалы (рис. 1). Это сделано для того, чтобы закон распределения ошибки был симметричным.

Результаты расчета вероятностей закона распределения погрешности для пяти квантов шкалы двухканального АЦП с алгоритмом уравнивания рис. 1 приведены в табл. 3. При расчете было принято, что помеха действует одновременно на оба устройства сравнения, т. е. считалось, что помеха приложена ко входу АЦП.

Для других четырех квантов шкалы ($k+1$, $k+2$, $k+3$, $k+4$) законы распределения ошибок будут зеркально симметричными, что следует из диаграммы состояний АЦП (см. рис. 1).

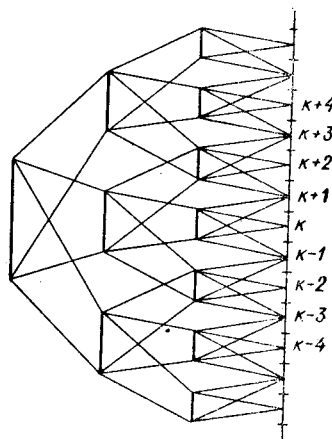


Рис. 1.

Таблица 3

Номер интервала	$k-7$	$k-6$	$k-5$	$k-4$	$k-3$	$k-2$	$k-1$	k	$k+1$	$k+2$	$k+3$
P_{k-4}	0,032	0,060	0,385	0,046	0,385	0,060	0,032	—	—	—	—
P_{k-3}	—	0,011	0,189	0,043	0,414	0,158	0,177	0,003	—	—	—
P_{k-2}	—	—	0,034	0,031	0,402	0,110	0,374	0,022	0,038	—	—
P_{k-1}	—	—	—	0,006	0,208	0,102	0,460	0,035	0,170	0,010	—
P_k	—	—	—	—	0,040	0,064	0,381	0,037	0,381	0,064	0,040

Из табл. 3 следует, что вероятности получения результатов измерения, отличающихся от истинных на $\pm \frac{\Delta}{2}$ для соседних квантов шкалы существенно различны: эти вероятности при движении по шкале попеременно получают то большие, то меньшие значения. Аналогичная ситуация имеет место на фиксированном такте в АЦП следящего уравнивания с УС, выходной сигнал которого принимает два состояния.

В двухканальном АЦП закон распределения погрешностей периодически повторяется через определенное число квантов, зависящее от амплитуды помехи, подобно закону распределения погрешностей АЦП поразрядного уравнивания [2].

На рис. 2 приведены осредненные по шкале законы распределения погрешностей для различных АЦП при приведенных выше условиях (a и b — АЦП следящего уравнивания с устройством сравнения, выходной сигнал которого имеет 2 и 3 состояния соответственно; $в$ — АЦП поразрядного уравнивания*; $г$ — двухканальный АЦП).

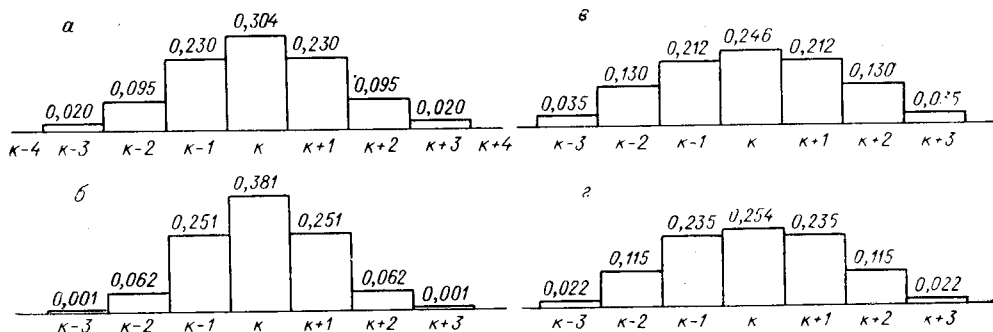


Рис. 2.

новешивания с устройством сравнения, выходной сигнал которого имеет 2 и 3 состояния соответственно; $в$ — АЦП поразрядного уравнивания*; $г$ — двухканальный АЦП).

Полученные осредненные по шкале законы распределения погрешностей могут быть использованы при проектировании АЦП, работающих в условиях импульсных помех на входе.

Выводы

Для всех исследованных АЦП, исключая АЦП совпадения, закон распределения погрешности отличается от закона распределения помехи, вызывающего появление погрешности; причем дисперсия погрешности всегда меньше дисперсии помехи.

Наиболее помехоустойчивым является АЦП следящего уравнивания с устройством сравнения, выходной сигнал которого может принимать три состояния.

Двухканальный АЦП при одинаковом быстродействии с АЦП поразрядного уравнивания обладает лучшей помехоустойчивостью.

Введение структурной избыточности является перспективным путем повышения помехоустойчивости, и поэтому следует продолжать поиски оптимальных структур.

В обсуждении полученных результатов принял участие канд. техн. наук А. Н. Касперович, за что автор выражает ему благодарность.

* Осредненный закон распределения погрешностей для приборов поразрядного уравнивания получен по результатам работы [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ефименко. О помехоустойчивости двоично-десятичных кодов.— *Автометрия*, 1965, № 2.
2. П. Е. Твердохлеб. Методика построения закона распределения погрешностей цифраторов, действующих в условиях импульсных помех.— *Автометрия*, 1965, № 5.
3. П. Е. Твердохлеб. Свойства случайных погрешностей цифратора поразрядного уравнивания с двоичной системой кодирования.— *Автометрия*, 1966, № 2.
4. А. Н. Касперович, Б. В. Карлюк, В. А. Алексеев. Двухканальный аналого-цифровой преобразователь.— Авторское свидетельство № 191233.— ИПОТЗ, 1967, № 3.

*Поступило в редакцию
3 июля 1967 г.,
окончательный вариант —
27 октября 1967 г.*

УДК 621.314.0

*И. Ф. КЛИСТОРИН, Г. М. СОБТЕЛЬ
(Новосибирск)*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЕ — ЧАСТОТА ИМПУЛЬСОВ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Для создания цифровых измерительных приборов, а также для устройств ввода данных в вычислительные машины дискретного действия все большее распространение получают преобразователи напряжения в частоту следования импульсов. Основными задачами при разработке преобразователей для указанных целей являются уменьшение нелинейности их статической характеристики и повышение частоты на выходе. Последнее особенно важно, когда на вход преобразователя подается сигнал в виде переменного напряжения. При этом крутизна выходной характеристики должна быть достаточно большой.

Принцип действия большинства преобразователей заключается в поочередном интегрировании входной величины с выдачей импульса при равенстве выходного напряжения интегратора и заданного опорного. Известными преимуществами обладают преобразователи, процесс интегрирования в которых происходит непрерывно. Это достигается путем исключения нерабочего времени интегратора, в течение которого он возвращается в исходное состояние.

Такие преобразователи могут быть выполнены на магнитных элементах, с сердечником из материала с прямоугольной петлей гистерезиса [1]. Однако получение линейной зависимости между преобразуемым напряжением и частотой затруднено из-за сильной зависимости параметров сердечника от изменений температуры. Известные схемы температурной компенсации [2] являются довольно сложными и не позволяют полностью исключить это влияние. Поэтому преобразователи на магнитных элементах для целей точного преобразования напряжения в частоту распространения не получили.

При более высоких требованиях к точности преобразования в качестве интегрирующих элементов используются конденсаторы. Одна из схем преобразователя такого типа, использующая перезаряд конденсатора, описана в [3]. Недостатком этой схемы является совмещение ряда функций, выполняемых в преобразователе, на одних и тех же элементах. Например, функции сравнивающих устройств и ключей выполняются одними и теми же элементами. Это приводит к ограничению ряда качественных показателей преобразователя — к сужению зоны линейной части характеристики, уменьшению кратности изменения частоты и увеличению температурной нестабильности.

Известно, что прецизионные устройства на транзисторах целесообразно строить по блок-схеме с отдельными функциональными элементами [4]. Это позволяет улучшить основные показатели всего устройства. Так, в [5] предложен преобразователь с отдельными функциональными элементами на двух конденсаторах с поочередным зарядом и разрядом их. Наличие двух конденсаторов требует удвоенного числа таких устройств, как сравнивающее, зарядное и разрядное. Для получения линейной выходной характеристики преобразователя необходимо, чтобы перечисленные выше устрой-