ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ВИБРАЦИЯ. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

РД 50—484—84

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1985

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. В. Золин (руководитель темы), **Л. К. Богданова, Б. А. Гордеев**

ВНЕСЕНЫ Государственным комитетом СССР по стандартам

Начальник Управления машиностроения **В. Н. Шахурин**

УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 июня 1984 г. № 2198

УДК 620.17 : 681.3

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Вибрация.

Оценка погрешности аналого-цифровых преобразователей в системах управления вибрационными испытаниями

РД 50—484—84

Введены впервые

Утверждены Постановлением Госстандарта от 28 июня 1984 г. № 2198, срок введения установлен

с 01.07.85
до 01.07.90

Настоящие методические указания распространяются на аналого-цифровые преобразователи (АЦП), применяемые при экспериментальных измерениях вибросигналов, и устанавливают методику оценки их погрешности. Методические указания развивают положения ГОСТ 8.256—77, ГОСТ 24314—80, ГОСТ 8.009—72 и РД 50—148—79 в части регламентации оценки погрешностей АЦП.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЦП

1.1. По закономерности появления погрешности разделяются на:

систематические;

случайные.

1.2. По причинам появления погрешности разделяются на:

методические;

инструментальные.

1.3. По условиям появления погрешности разделяются на:

статические;

динамические.

1.3.1. Наибольший вклад в статическую погрешность АЦП вносят:

погрешность квантования;

погрешность, вызываемая напряжением (током) смещения нуля на выходе;

погрешность коэффициента передачи;

погрешность нелинейности преобразователя.

© Издательство стандартов, 1985

1.3.2. Наибольший вклад в динамическую погрешность АЦП вносят погрешности, обусловленные временем преобразования и апертурной неопределенностью.

1.3.3. Выбор динамических характеристик АЦП, подлежащих нормированию, производится в соответствии с РД 50-148—79.

1.4. Следует учитывать погрешности, вызываемые механическими воздействиями и изменением параметров окружающей среды (температуры, давления, вибрации, магнитного и электрического полей, влажности, специальных факторов).

1.5. Суммарная погрешность с точки зрения ее спектральных свойств подразделяется на высокочастотную и низкочастотную компоненты.

2. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ АЦП

2.1. При проведении анализа погрешностей АЦП применяются два метода:

минимаксный — суммарная погрешность оценивается как алгебраическая сумма максимально возможных составляющих погрешности;

статистический — случайные погрешности характеризуются условными законами распределения, которые могут быть представлены в виде условной функции или условной плотности распределения. Суммарная погрешность находится путем композиции независимых законов распределения случайных величин.

2.2. Суммарная погрешность АЦП представляет собой сумму случайных статических и динамических погрешностей. Систематические погрешности суммируются с учетом знака и величины в наихудшем случае и учитываются в виде поправки

$$\Delta_{\Sigma}=\Delta_{ст}+\Delta_{д}+\Delta',$$

где $\Delta_{ст}$ — статическая погрешность; $\Delta_{д}$ — динамическая погрешность; Δ' — систематическая погрешность.

2.2.1. С учетом статистической независимости динамической и статической погрешностей дисперсия преобразования определяется

$$\sigma_{\Sigma}^2=\sigma_{ст}^2+\sigma_{д}^2, \qquad (1)$$

где $\sigma_{ст}^2$ — дисперсия статической погрешности; $\sigma_{д}^2$ — дисперсия динамической погрешности.

2.3. Погрешность квантования считается случайной величиной, распределенной по равномерному закону в интервале $(-q/2, q/2)$ для синхронизированных АЦП и в интервале $(-q, q)$ для несинхронизированных АЦП, где q — единица младшего разряда (ЕМР).

Предельное значение погрешности квантования синхронизированных АЦП принимается равным

$$\Delta_{1кв}=\left|\frac{q}{2}\right|.$$

Максимальное значение погрешности квантования несинхронизированных АЦП принимается равным

$$\Delta_{2кв}=|q|.$$

2.3.1. Дисперсия погрешности квантования равна

$$\sigma^2_{1кв}=\frac{q^2}{12};$$
$$\sigma^2_{2кв}=\frac{q}{3}. \qquad (2)$$

2.4. Погрешность смещения нуля — максимальное значение выходного напряжения при нулевом значении входного сигнала для определенной температуры.

2.5. Погрешность коэффициента передачи — разность крутизны аппроксимирующей прямой реальной функции преобразования и крутизны аппроксимирующей прямой номинальной функции преобразования (учитывается влияние температурного коэффициента, коэффициента передачи и влияние колебаний напряжений источников питания, а также изменения коэффициента передачи за заданный период времени).

2.6. Апертурная погрешность АЦП возникает из-за неопределенности преобразуемого входного напряжения относительно истинного значения, если входной сигнал в течение времени преобразования изменяется более чем на эквивалент 1 МР.

Максимальное значение апертурной погрешности определяется

$$\Delta_{ап}=x_{max}f_{max}t_{ап},$$

где x_{max} — максимальная амплитуда входного сигнала; f_{max} — максимальная частота входного сигнала; $t_{ап}$ — апертурное время. Апертурное время — время неопределенности между моментами подачи сигнала команды и появления цифрового кода.

2.7. В общем случае вибрационные сигналы рассматриваются как реализации случайного процесса. Для расчета динамической погрешности необходимо сделать предположение о виде закона распределения и спектре входного сигнала.

2.8. Значение динамической погрешности для нормальных дифференцируемых процессов в первом приближении определяется

$$\Delta_д=\dot{x}t_{пр},$$

где $\dot{x}$ — производная процесса; $t_{пр}$ — время преобразования.

2.8.1. Время преобразования — это время, которое требуется АЦП для выполнения полного измерения: от момента поступления вход входного сигнала до момента появления на выходе выходного кода. По теореме отсчетов вся передаваемая сигналом информация будет преобразована в дискретную форму, если частота дискретизации этого сигнала по крайней мере вдвое превышает наивысшую частоту составляющих этого сигнала.

2.9. Дисперсия динамической погрешности определяется

$$\sigma_{д}^{2}=\sigma_{\dot{x}}^{2}\, t_{пр}^{2}, \qquad (3)$$

где $\sigma_{\dot{x}}^{2}$ — дисперсия производной процесса.

2.10. Высокочастотная компонента суммарной погрешности характеризуется статистически независимыми от преобразуемого сигнала значениями, взятыми с шагом $t_{пр}$ ($t_{пр}$ — время отдельного аналого-цифрового преобразования). Ее составляющими являются инструментальные шумы и погрешность квантования по уровню.

2.11. Низкочастотная компонента суммарной погрешности функционально связана с преобразуемым сигналом и внешними воздействиями, а также с погрешностями дрейфа характеристик АЦП.

2.12. В АЦП системного применения, используемых в каналах связи, допускается не учитывать низкочастотную составляющую.

2.13. Основной характеристикой высокочастотной погрешности является ее среднее квадратическое значение σ.

2.14. Низкочастотная погрешность δ является функцией параметров входного вибросигнала x и внешних возмущений $\vec{\omega}$.

2.15. Оценка значений δ и σ в каждой точке пространства сигнала и воздействий должна определяться по формулам:

$$\delta=m_{\delta}-x_{0},$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{1}{l-1}\sum_{j=1}^{l}(Y_{j}-m_{\delta})^{2}},$$

где m_{δ} — математическое ожидание приведенной ко входу АЦП суммарной погрешности;

x_0 — образцовое значение входного сигнала;

$Y_j (j=1,\ldots,l)$ — выборка значений выходной координаты АЦП при входном сигнале x. При этом ЕМР должна удовлетворять условию $q \ll \delta$.

Погрешность εx установки значения x_0 прецизионным АЦП должна удовлетворять условию $\varepsilon x \leqslant \frac{1}{3}\delta$.

2.16. При отсутствии в εx систематической составляющей и при значениях εx, близких к δ, должна применяться рандомизация, заключающаяся в том, что одно и то же значение преобразуемого сигнала x_0 подается на вход АЦП многократно и каждая новая установка сигнала производится независимо от предыдущих.

2.17. Искомое значение δ в данной точке пространства аргументов x, $\vec{\omega}$ находится как среднее значение δ_i по всем $i (i=1,\ldots,k)$, где k — число наблюдений

$$\delta=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\delta_i.$$

2.18. Среднее квадратическое значение низкочастотной погрешности определяется по формуле

$$\sigma_\delta=\sigma_{\delta i}\sqrt{k-1},$$

где $\sigma_{\delta l}$ — среднее квадратическое значение оценки δ_i.

2.19. Среднее квадратическое значение $\sigma_{\delta l}$ определяется по формуле

$$\sigma_{\delta l}=\sqrt{\sigma^2_{\text{у.о}}+\sigma^2/l},$$

где $\sigma_{\text{у.о}}$ — дисперсия установки образцового сигнала; σ — среднее квадратическое значение высокочастотной погрешности АЦП; l — объем выборки.

2.20. Численные значения параметров εx, σ, l устанавливаются в стандартах или технических условиях на конкретные типы АЦП.

2.21. Примеры практической реализации методики по расчету погрешности АЦП приведены в приложениях 1 и 2.

2.22. Нормирование погрешностей следует проводить в соответствии с ГОСТ 8.009—72.

2.23. Методы коррекции некоторых видов погрешностей АЦП приведены в приложении 3.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ АЦП

3.1. Основные параметры АЦП должны выбираться с учетом статистических свойств вибропроцесса, являющегося случайным сигналом с динамическим диапазоном до 40 дБ и частотным диапазоном до 10 кГц.

3.2. К характеристикам, оказывающим влияние на выбор АЦП относятся:

цифровой код;
разрядность;
диапазон входного или выходного напряжения;
логические уровни на входе или выходе преобразователя;
номинальное значение логического «0» или логической «1»;
длительность импульсов;
длительность фронта и среза;
входное полное сопротивление;
уровни напряжений источников питания;
нестабильность источников (включая пульсацию и шум);
допустимая мощность потребления;
габаритные размеры и форма АЦП.

3.3. Погрешности АЦП составляют часть суммарной погрешности тракта измерения и управления, и выбор параметров АЦП

целесообразно проводить с учетом значения суммарной погрешности системы.

3.4. Параметры выходных сигналов АЦП должны соответствовать требованиям ГОСТ 26.201—80.

3.5. Критерий эффективности использования АЦП в системах управления вибрационными испытаниями должен удовлетворять следующему выражению

$$Q=\frac{\overline{R}^{q_R}(3600/(\lambda_0+\lambda_{\text{п.и}})^{q_H}A^{q_A}\chi^{q_T}}{\prod\limits_i[(C_0)_i+(C_{\text{п.и}})_i]q_i}, \qquad (4)$$

где $\overline{R}$ — оценка информационной производительности (бит/с), характеризующая количество информации о преобразуемом сигнале, передаваемое через АЦП в единицу времени;

A — быстродействие АЦП (число преобразований в в секунду);

χ — характеристики преобразуемого сигнала во временно́й области;

C_i — стоимостные параметры;

q_R, q_A, q_H, q_T — логические переменные, принимающие значения 1, если соответствующий параметр является доминирующим, и значение 0 — в противном случае;

λ_0 — средняя интенсивность отказов системы;

C_0 — стоимость системы;

$\lambda_{\text{п.и}}$ — средняя интенсивность отказов АЦП;

$C_{\text{п.и}}$ — стоимость АЦП.

Переменные q_R, q_T, q_H, q_A, q_i должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$q_R \wedge q_T=0;\ q_A \wedge q_A;$$

$$q_i \wedge q_i=0;\ (i \neq j);$$

$$q_T \wedge q_H \wedge q_A \wedge q_i=0,$$

где $\wedge$ — символ логической операции конъюнкции.

3.6. Критерии выбора АЦП системного применения в зависимости от доминирующих параметров приведены в таблице.

Критерии выбора АЦП

Доминирующие параметры АЦП	Вид критерия	Наименование, единицы измерения	Физический смысл
Точность $q_R=1$	$Q=\overline{R}$	Средняя информационная производительность, бит/с	Оценка количества информации, передаваемой через АЦП в секунду

Продолжение табл.

Доминирующие параметры АЦП	Вид критерия	Наименование, единицы измерения	Физический смысл
Быстродействие	$Q=A$	Быстродействие, 1/с	Число преобразований в секунду
Надежность	$Q=\frac{3600}{\lambda_0+\lambda_{АЦП}}$	Системная надежность, с	Среднее время безотказной работы с данным АЦП
Точность и надежность	$Q=\frac{3600\bar{R}}{\lambda_0+\lambda_{АЦП}}$	Информационно-надежностный критерий, бит	Оценка суммарного количества информации, передаваемой через АЦП за время безотказной работы системы
Быстродействие и надежность	$Q=\frac{3600A}{\lambda_0+\lambda_{АЦП}}$	Надежностно-скоростной критерий, бит	Общее число преобразований, выполняемых АЦП за время безотказной работы системы
Быстродействие и стоимость $C_{АЦП}\gg C_0$	$Q=\frac{A}{C_{АЦП}}$	Критерий эффективности, 1/с·руб.	Число преобразований в секунду
Точность и произвольный стоимостный параметр $C_{АЦП}$	$Q=\frac{R}{(C_0)_i+(C_{АЦП})}$	Информационно-стоимостной критерий, $\frac{\text{б/с}}{\text{ед. стоимости}}$	Оценка средней информационной производительности, приходящейся на единицу стоимости системы
Точность, надежность и стоимостный параметр $C_{АЦП}$	$Q=\frac{3600\bar{R}}{(\lambda_0+\lambda_{АЦП})}\times\frac{1}{(C_0)_i+(C_{АЦП})_i}$	Интегральный информационный критерий, бит/ед. стоимости	Оценка суммарного количества информации, передаваемой через АЦП за время безотказной работы системы и приходящейся на единицу ее стоимости

3.7. Экспериментальное определение погрешности АЦП приведено в приложении 4.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рекомендуемое

ПРИМЕР СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПУТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

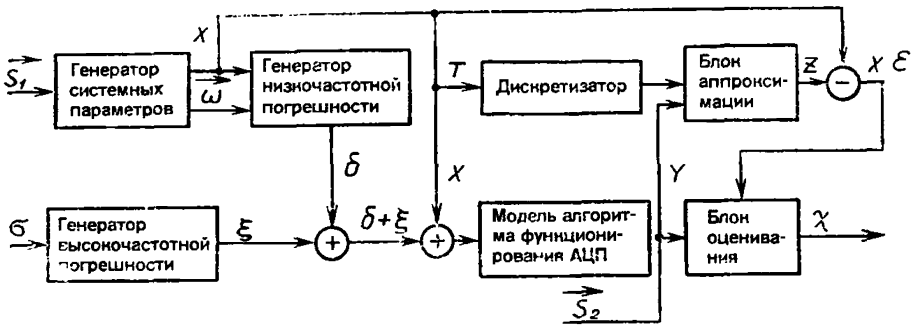
На этапе идентификации получена математическая модель преобразования в виде зависимости погрешности от сигнала и внешних возмущений $\Delta=f(x, \vec{\omega})$ и среднее квадратическое значение высокочастотной погрешности σ. Характеристики преобразуемого сигнала x представим в виде компонент вектора системных параметров $\vec{S}$. Внешние возмущения обозначим вектором $\vec{S}_1$, а параметры, зависящие от назначения системы,—вектором $\vec{S}_2$. Структурная схема системного анализа точности аналого-цифрового преобразования приведена на чертеже.

Требуется на основании математической модели получить некоторую характеристику χ суммарной погрешности в данной системе.

На основании заданных компонент вектора $\vec{S}$ генератор системных параметров вырабатывает сигналы, моделирующие преобразуемый вибросигнал и внешние воздействия $\vec{\omega}$. По этим сигналам при помощи генератора низкочастотной погрешности, моделирующего зависимость $\Delta=f(x, \vec{\omega})$, вырабатываются соответствующие значения низкочастотной погрешности δ. Эти значения суммируются со значениями Σ высокочастотной погрешности, которые получаются на выходе генератора высокочастотной погрешности на основании заданного программой среднего квадратического значения σ.

Аддитивная смесь сигнала x и погрешностей δ, Σ при помощи модели алгоритма функционирования АЦП преобразуется в квантованную по уровню последовательность Y, которая в дискретизаторе подвергается временной дискретизации с системным шагом T. Дискретизированная по времени и квантованная по уровню последовательность Z поступает в блок аппроксимации, который осуществляет аппроксимацию входного сигнала по решетчатой функции Z. Способ аппроксимации задается компонентами вектора $\vec{S}_2$.

Структурная схема системной модели аналого-цифрового преобразования



Разность аппроксимирующего сигнала Z и сигнала x представляет собой суммарную погрешность аналого-цифрового преобразования в данной системе δ. Эта погрешность поступает в блок оценивания, который в соответствии с условиями, определяемыми компонентами вектора $\vec{S}_2$, обеспечивает расчет требуемых характеристик χ суммарной погрешности δ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ АЦП С ЗАДАННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Предположим, что процесс $x(t)$ является стационарным, эргодическим. Функция плотности вероятностей процесса имеет вид

$$\varphi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_x}\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right);\ m_x=0.$$

Рассмотрим случаи преобразования процесса $x(t)$ с корреляционной функцией вида

$$R_x(\tau)=\sigma_x^2(1+\alpha/\tau/)e^{-\alpha/\tau/} \qquad (1)$$

в пределах от $x_{\min}=0{,}1$В до $x_{\max}=10$В и максимальной частотой $f_{\max}=500$ Гц.

При нормальном распределении процесса $x(t)$ его производная в тех же точках также распределена нормально с параметрами

$$m_{\dot{x}}=0;\ \sigma^2_{\dot{x}}=/R''_x(\tau)/_{\tau=0},$$

где $m_{\dot{x}}$ — математическое ожидание производной процесса;

$\sigma^2_{\dot{x}}$ — дисперсия производной процесса;

$R''_x(\tau)$ — вторая производная корреляционной функции случайного процесса.

С учетом формулы (1) получим

$$\sigma^2_{\dot{x}}=\alpha^2\sigma^2_x. \qquad (2)$$

Согласно выражениям (1) и (3) методических указаний приведенное значение дисперсии результирующей погрешности равно

$$\tilde{\sigma}^2_{\Sigma}=\frac{\sigma^2_{\Sigma}}{9\sigma^2_x}=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{2^{2n+2}}+\frac{\alpha^2 t^2_{\text{пр}}}{3}\right), \qquad (3)$$

где n — число разрядов АЦП.

Для последовательного АЦП время преобразования $t_{\text{пр}}$ определяется по формуле

$$t_{\text{пр}}=an, \qquad (4)$$

где a — быстродействие, с.

Параметр α обычно находят для уровня спектра $S(\omega)/S(0)=0{,}5$.

В данном случае спектральная плотность дисперсии исследуемого процесса $S(\omega)=4\alpha^3/(\omega^2+\alpha^2)$, откуда

$$\alpha=\left|\sqrt{1+\sqrt{2}}\right|2\pi f_{\max}. \qquad (5)$$

Из выражения (3) данного приложения следует, что параметры АЦП (быстродействие, число разрядов) должны выбираться с учетом статистических свойств входного сигнала. Для АЦП с заданными разрядностью и быстродействием (при $n=7$, $a=10^{-7}$ C) дисперсия приведенной погрешности преобразования равна $\tilde{\sigma}^2=0{,}2$ %.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рекомендуемое

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

1. Для комплексной оценки эффективности методов коррекции используется критерий условной дезинформационной способности (УДС). Определим *информативный выигрыш* ΔI, *получаемый при использовании метода коррекции*, как разность УДС АЦП без коррекции и с коррекцией. Такая характеристика позволяет учесть в соответствующих пропорциях все составляющие суммарной погрешности АЦП.

Выражение для ΔI можно представить в виде

$$\Delta I = -f_{\max} \log_2(1-\beta), \qquad (1)$$

где $f_{\max}$ — верхняя частота в спектре входного сигнала АЦП;

$$\beta = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \frac{\sigma_i^2}{\sigma_\Sigma^2}. \qquad (2)$$

Коэффициенты γ_i в выражении (2) определяют способом коррекции погрешностей и соотношением между средними квадратическими значениями суммарной погрешности σ_Σ^2 и ее составляющих σ_i^2 (табл. 1).

Выигрыш от применения коррекции имеет место, если $0<\beta<1$, при $\beta=0$ выигрыш ΔI равен нулю, наконец, в случае $\beta<0$ применение коррекции приводит к проигрышу (значения $\beta\geqslant 1$ принципиально невозможны).

На основе характеристики ΔI можно построить (табл. 2) ряд интегральных критериев, которые наряду с информационной эффективностью ΔI учитывают в обоснованных пропорциях стоимость коррекции и (или) уменьшение времени безотказной работы АЦП при введении коррекции. Стоимость в данном случае может трактоваться различным образом и выражаться в рублях, количестве интегральных схем (ИС) и т. д.

Критерий ΔI следует выбирать, когда доминирующее значение имеют точность и быстродействие АЦП; критерий K_1 при доминирующих характеристи-

Таблица 1

Выбор метода коррекции

Метод коррекции	Коэффициенты a, b, c, d	Тип корректируемой погрешности
Статистическое осреднение S преобразований для каждой из M образцовых мер с последующей коррекцией систематической погрешности в N преобразованиях	$a=1;\ b=-\frac{1}{S};$ $c=-\frac{MS}{N};$ $d=-1$	Систематическая (при $S=1;\ \sim M\geqslant 1$). Случайная и систематическая (при $S>1;\ \sim M\geqslant 1$):
M поверок по образцовым мерам с последующей коррекцией систематической погрешности в N преобразованиях и осреднением выборок преобразований объемом S	$a=SgnM;$ $b=d=\frac{S-1-SgnM}{S};$ $c=\left(1-S-\frac{M}{\ln t\frac{N}{S}}\right)$	Случайная (при $M=0;\ N=S$) Систематическая и случайная (при $M\geqslant 1,\ N\geqslant S$).

Таблица 2

Выбор интегральных критериев при коррекции

Критерий	Обозначение входящих в критерий параметров	Физический смысл критерия
$K_1=\frac{\Delta I}{Z}$	Z — затраты на коррекцию (стоимость коррекции)	Уменьшение потерь информации в единицу времени, приходящееся на единицу стоимости коррекции
$K_2=\Delta IT-R\Delta T$	T — время безотказной работы АЦП с коррекцией, с; R — скорость передачи информации в АЦП без коррекции;	Суммарное изменение потерь информации за время безотказной работы АЦП, обеспечиваемое коррекцией
$K_3=\frac{K_2}{Z}$	ΔT — уменьшение времени безотказной работы при введении коррекции, с	Суммарное изменение потерь информации за время безотказной работы АЦП, приходящееся на единицу стоимости коррекции

ках — точность, быстродействие и стоимость; критерий K_2 если доминирующими является точность, быстродействие и надежность АЦП; критерий K_3 — при необходимости одновременного учета точности, быстродействия, стоимости и надежности.

В соответствии с видами погрешностей структурные методы коррекции делятся на две группы: коррекция случайных погрешностей и коррекция систематических погрешностей.

Случайные погрешности преобразования можно уменьшить, улучшая качество элементов АЦП и осуществляя статистическую обработку результатов преобразования. Уменьшить систематические погрешности можно как при использовании статистической обработки результатов преобразования, так и при интегрировании входного сигнала. Использование любых статистических методов требует увеличения времени преобразования. Уменьшить систематические погрешности можно как при использовании статистической обработки результатов преобразования, так и при интегрировании входного сигнала. Использование любых статистических методов требует увеличения времени преобразования.

2. Одним из наиболее распространенных методов коррекции погрешностей является метод цифрового интегрирования. При повышении точности АЦП методом цифрового интегрирования используются выборки из результатов преобразования, в каждом из которых получается некоторое значение выходного кода N_i.

При цифровом интегрировании на выходе АЦП происходит суммирование этих кодов, в результате чего, если эта сумма фиксируется в виде двоичного кода, число разрядов в коде суммы увеличивается по сравнению с кодом N_i на $n=\log_2 m$.

Известно, что дисперсия погрешности при цифровом интегрировании в m раз меньше дисперсии единичного результата

$$\sigma_m^2=\frac{\sigma_s^2}{m}. \qquad (3)$$

Для получения результата статистической обработки необходимо осуществить деление полученной суммы кодов на число членов в выборке m. Это легко сделать, отбросив $n=\log_2 m$ младших разрядов суммы, сохранив при этом начальное число и вес разрядов, равные числу и весу разрядов единичного результата.

Рассмотрим принципы реализации автоматической коррекции смещения нуля.

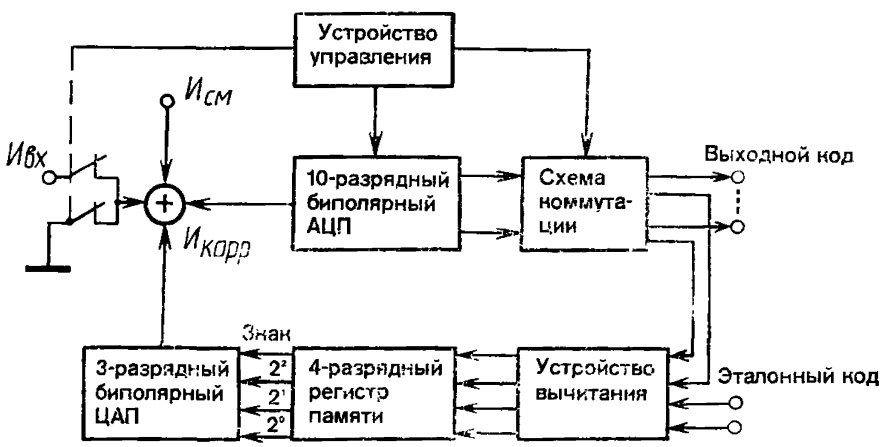
3. На черт. 1 приведена структурная схема конкретной реализации коррекции смещения нуля, относящаяся к 10-разрядному биполярному АЦП со смещенным двоичным кодом, у которого относительная погрешность смещения нуля $1 \cdot 10^{-2}$, что соответствует 7-разрядному преобразователю (разряды от 2^{10} до 2^3). Три младших разряда (2^2, 2^1, 2^0) обеспечиваются 3-разрядными биполярными цифроаналоговыми преобразователями (ЦАП) за счет автоматической коррекции смещения. Статическая погрешность ЦАП должна соответствовать младшим разрядам 10-разрядного ЦАП. Диапазон изменения сигнала 3-разрядного ЦАП должен соответствовать плюс-минус четырем единицам младшего разряда 10-разрядного биполярного АЦП.

В один из периодов работы на вход АЦП подают нулевое напряжение. После преобразования сигнал поступает на один из видов цифровой схемы сравнения, на другой вход которой подается эталонный код, соответствующий для данного АЦП абсолютному нулю на его входе (этот код может быть как равным, так и отличным от нуля в зависимости от используемой в АЦП формы представления двоичного кода). Результирующий разностный цифровой сигнал, являющийся сигналом ошибки, через регистр памяти, который необходим для его сохранения на все время коррекции, поступает в дополнительный ЦАП, где преобразуется в соответствующее аналоговое напряжение, которое подается в общую суммирующую точку АЦП. В этой точке происходит изменение начального смещения на входе АЦП таким образом, чтобы скомпенсировать происшедшее смещение нуля.

Такое устройство позволяет производить автоматическую коррекцию смещения нуля АЦП независимо от причин, его вызывающих, и бороться с такими вредными явлениями, как временные и температурные дрейфы в отдельных элементах. Единственное условие эффективной работы этой системы заключается в том, чтобы все эти уходы и дрейфы были достаточно медленными по сравнению с периодом коррекции.

Дополнительный выигрыш в статической точности исходного АЦП, который достигается с помощью рассмотренного принципа автоматической коррекции смещения нуля, определяется разрядностью и точностью работы ЦАП в цепи обратной связи.

Структурная схема 10-разрядного биполярного АЦП с коррекцией смещения нуля

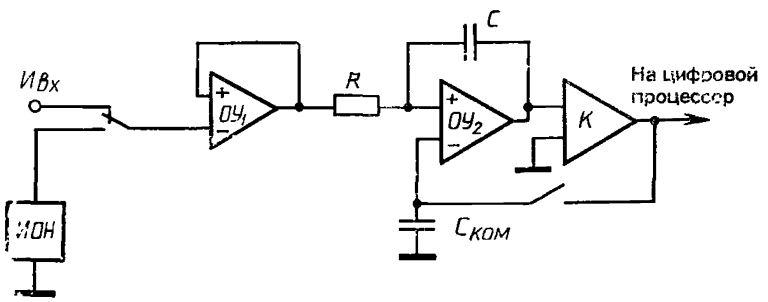


Черт. 1

4. Метод коррекции смещения «нуля» АЦП использует процедуру типа скользящего интегрирования (черт. 2). В этом методе не происходит сброса на нуль результата сравнения перед каждым новым периодом коррекции, а осуществляется непрерывное отслеживание изменений смещения нуля с выбранной частотой коррекции. Этот метод ограничивает скорость коррекции по сравнению с методом непосредственного запоминания результата сравнения. Однако, учитывая, что автоматическая коррекция смещения предназначена для работы в условиях его медленных уходов, последнее ограничение может быть несущественным. Преимуществом метода интегрирования является как раз усреднение результата сравнения, что уменьшает случайные флуктуации напряжения коррекции и приводит к уменьшению случайных составляющих результирующей погрешности АЦП.

5. Общий принцип автоматической коррекции коэффициента передачи характеристики квантования во многом аналогичен рассмотренному принципу коррекции смещения. Он также состоит в использовании одного из периодов работы АЦП для того, чтобы подать на него эталонное напряжение, близкое к максимальному (с учетом возможного ограничения сверху характеристики квантования), и по полученному результату и известному эталонному коду вычислить необходимый цифровой сигнал управления. Последний через соответствующий регистр памяти управляет усилителем с дискретно-изменяемым коэффициентом передачи, который включен перед АЦП.

Схема аналоговой коррекции напряжения смещения в АЦП с двукратным интегрированием



Черт. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЦП

1. Известные методы количественного определения динамических параметров АЦП основаны на измерениях с помощью образцового цифроаналогового преобразователя (ЦАП), полученный при этом на выходе ЦАП аналоговый сигнал затем анализируется методами аналоговой измерительной техники..

Возможно использование образцового АЦП. В этом случае осуществляется сравнение и обработка выходных кодов образцового и испытуемого АЦП, погрешность преобразования определяют по формуле

$$\Delta = \frac{U_{об}(t_0) - U_{ис}(t_0)}{U_{об}(t_0)} \cdot 100\%,$$

где $U_{об}(t_0)$ — значение входного сигнала в момент времени t_0, определенное при помощи образцовой аппаратуры;

$U_{ис}(t_0)$ — значение входного сигнала в момент времени t_0, измеренного исследуемым АЦП.

2. Схемы измерения нормируемых динамических характеристик по РД 50—148—79.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Классификация погрешностей АЦП 1
2. Оценка погрешности АЦП 2
3. Рекомендации по выбору АЦП 5
Приложение 1. Рекомендуемое. Пример системного анализа точности аналого-цифрового преобразования путем математического моделирования на ЭВМ 8
Приложение 2. Рекомендуемое. Пример расчета погрешности АЦП с заданными параметрами входного сигнала 9
Приложение 3. Рекомендуемое. Методы коррекции погрешностей . . 10
Приложение 4. Рекомендуемое. Экспериментальное определение погрешностей АЦП 14

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Вибрация.
Оценка погрешности аналого-цифровых преобразователей в системах управления вибрационными испытаниями

РД 50—484—84

Редактор *Т. А. Киселева*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Е. И. Евтеева*

Сдано в набор 07.08.85 Подп. в печ. 10.11.85 Т—19711 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная Печать высокая 1,0 усл. печ. л. 1,25 усл. кр.-отт. 1,03 уч.-изд.-л. Тир. 30 000 Изд. № 8312/4 Цена 5 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1018

gost.e-ecolog.ru