

Вывод

В цифровом вольтметре двухтактного типа постоянная составляющая погрешности снижается за счет временного усиления интегратора, а составляющая, пропорциональная U_x , — за счет наличия двух членов с разными знаками, частично компенсирующих друг друга. Эта компенсация имеет место на участке, превышающем 10% от предела измерения, где в общей погрешности прибора преобладает составляющая погрешности, пропорциональная U_x .

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Орнатский. Автоматические измерительные приборы. Киев, «Техника», 1965.
2. Г. Корн и Т. Корн. Электронные моделирующие устройства. М., Изд-во иностр. лит., 1955.

*Поступило в редакцию
10 января 1966 г.,
окончательный вариант —
13 октября 1966 г.*

УДК 621.374.088

А. П. КНЮПФЕР

(Москва)

СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ И НЕСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ОДИНОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Случайные погрешности АЦП обусловлены действием собственного внутреннего шума и шума квантования по уровню. В дальнейшем будем считать, что собственный шум преобразователя приведен ко входу и выражен в масштабе преобразуемого сигнала. Описываемая методика справедлива при определении случайной погрешности, вызванной внешней случайной помехой на входе преобразователя. Под одиночными будем понимать измерения, результат которых оценивается вне зависимости от результатов предыдущих измерений. Синхронизированными (АЦПс) будем считать АЦП, в которых смещение между началом отсчета кода и нулевым значением измеряемой величины постоянно, а несинхронизированными (АЦПн) — развертывающие АЦП, в которых отсутствует синхронизация счетных импульсов импульсом начала временного интервала, заполняемого счетными импульсами. Для оценки статической погрешности одиночных измерений АЦП и обоснованного решения вопроса о целесообразности введения синхронизации необходимо определить зависимость случайной погрешности АЦП от параметров закона распределения шума на входе преобразователя. Указанную зависимость определим для случая, когда приведенный ко входу инструментальный шум распределен по нормальному закону, среднеквадратичное значение которого σ равно (или меньше) единице наименьшего разряда выходного кода АЦП, а измеряемая величина распределена равномерно по шкале. Эффектом на краях шкалы будем пренебрегать.

В [1] получены выражения, связывающие параметры шума на входе преобразователя со статистическими характеристиками выходных сигналов АЦП, результаты измерений которых осредняются. Близкая задача, соответствующая случаю синхронизированных АЦП, решена в [2] при определении погрешности отсчета показаний стрелочных приборов.

В настоящей работе оцениваются случайные погрешности синхронизированных и несинхронизированных АЦП, работающих в режиме одиночных измерений.

Погрешность одиночного измерения Δ определим как разность между значением K выходного кода АЦП и значением Y_0 преобразуемого сигнала на входе преобразователя:

$$\begin{aligned}\Delta &= K - Y_0; \\ Y_0 &= n_0 + \Delta n_0,\end{aligned}\quad (1)$$

где n_0 — целое число квантов, укладываемое в значении преобразуемого сигнала.

Вероятность $dP(\Delta)$ того, что значение погрешности Δ находится в пределах области значений $d\Delta$, можно определить путем вычисления совместной вероятности того, что преобразуемый сигнал находится в пределах области значений dY_0 , а показание преобразователя при этом принимает значение K :

$$dP(\Delta) = P(dY_0, K) = dP(Y_0)P_{Y_0}(K). \quad (2)$$

Обозначая через $f(\Delta)$ плотность распределения погрешности, а через $f(Y_0)$ плотность распределения измеряемой величины, представим (2) в виде

$$f(\Delta) d\Delta = f(Y_0) dY_0 P_{Y_0}(K). \quad (3)$$

Из (1) следует, что при неизменном показании K значения dY_0 и $d\Delta$ совпадают. Следовательно,

$$f(\Delta) = f(Y_0) P_{Y_0}(K). \quad (4)$$

В случае равномерного распределения измеряемой величины по шкале

$$f(Y_0) = 1/Y_{0 \max} \quad (0 < Y_0 < Y_{0 \max}). \quad (5)$$

Подставляя значение $f(Y_0)$ из (5) в (4) и применяя теорему сложения [3], окончательно получим

$$f(\Delta) = P_{Y_0}(K). \quad (6)$$

В [1] для АЦП развертывающего типа получены выражения для вероятности $P(K)$ значения K выходного кода.

Для синхронизированных АЦП

$$P(K) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{K + 0,5 - Y_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{K - 0,5 - Y_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right]. \quad (7)$$

Для несинхронизированных АЦП

$$P(K) = \frac{1}{2} \int_k^{k+1} \left[\Phi \left(\frac{1 + Y_0 - z}{\sigma \sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{Y_0 - z}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right] dz. \quad (8)$$

Здесь Φ — символ интеграла вероятности;

0,5 — постоянное смещение между нулевым значением выходного кода и нулевым значением преобразуемой величины;

Y_0 — сигнал на входе преобразователя.

Подставляя значение $P_{Y_0}(K)$ из (7) и (8) в (6) соответственно для АЦПс и АЦПн и учитывая, что $\Delta = K - Y_0$ (1), можно получить зависимость плотности распределения погрешности одиночных измерений для АЦПс и АЦПн. Сравнительный анализ полученных выражений в аналитической форме затруднен ввиду сложности выражений (7) и (8). Значения вероятности $P_{Y_0}(K)$ были рассчитаны с помощью ЦВМ по формулам (7) и (8) для ряда значений σ , Y_0 и K . По результатам расчета построены кривые плотности распределения $f(\Delta)$ погрешности Δ (здесь не приведены) и соответствующие им интегральные функции распределения (кривая 1 для АЦПс, кривая 2 для АЦПн), характеризующие вероятность $P(|\Delta| < \Delta_m)$ того, что модуль погрешности одиночного измерения не превысит некоторого значения Δ_m (рис. 1, 2, 3).

Из рассмотрения интегральных функций распределения, построенных для АЦПс и АЦПн для значений σ , соответственно равных 0,1; 0,3; 0,5, следует, что разница между АЦПс и АЦПн в отношении погрешности одиночного измерения сравнительно быстро уменьшается с увеличением σ . Так, при $\sigma = 0,1$ предельное значение погрешно-

сти, при котором значение вероятности $P(|\Delta| < \Delta_m)$ близко к единице, для АЦПС составляет величину порядка 0,8, а для АЦПн величину порядка 1,2 (см. рис. 1). При $\sigma = 0,3$ предельное значение погрешности для АЦПС составляет 1,2, а для АЦПн — 1,4 (см. рис. 2). При $\sigma = 0,5$ разница между предельными значениями погрешности одиночных измерений АЦПС и АЦПн становится практически несущественной (см. рис. 3).

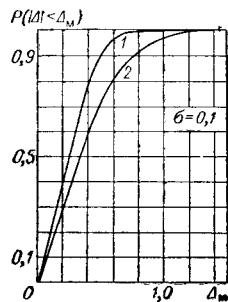


Рис. 1.

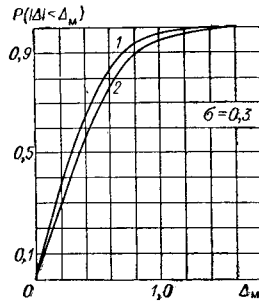


Рис. 2.

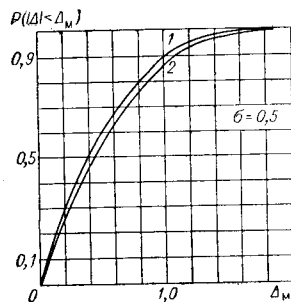


Рис. 3.

Учитывая сделанные в [1] выводы о преимуществах АЦПн перед АЦПС при осреднении результатов преобразований сигналов с малыми дисперсиями, а также необходимость усложнения схемы преобразователя при введении синхронизации, следует отметить, что введение синхронизации с целью уменьшения погрешности одиночного измерения целесообразно при малых значениях σ шума на входе преобразователя; уже при $\sigma = 0,3$ введение синхронизации не приводит к заметному эффекту.

Учет приведенных зависимостей позволяет обоснованно решить вопрос о целесообразности введения синхронизации и определить статическую случайную погрешность АЦПС и АЦПн при одиночных измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Земельман, А. П. Кнупфер, В. А. Куликов. Определение статистических характеристик измеряемых величин при малых дисперсиях по выходным сигналам аналого-цифровых преобразователей.— *Автометрия*, 1966, № 2.
2. И. В. Дунин-Барковский, Н. В. Смирнов. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть), § 8.4.3. М., Гостехиздат, 1955.
3. А. С. Немировский. Вероятностные методы в измерительной технике. М., Изд-во стандартов, 1964.

Поступило в редакцию
8 февраля 1966 г.,
окончательный вариант —
19 сентября 1966 г.

УДК 621.317.7.088

Г. П. ШЛЫКОВ
(Пенза)

О ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ, ВЫЗВАННЫХ КОНЕЧНОСТЬЮ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА СРАВНЕНИЯ

Показания вольтметра, как известно, зависят от соотношения между его входным сопротивлением и выходным сопротивлением источника измеряемого напряжения U_x . Поэтому класс точности каждого вольтметра гарантируется только до определенной