

КОРРЕКЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ АНАЛОГОВОГО ТРАКТА ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Основными задачами цифровой осциллографии являются воспроизведение формы измеряемого процесса и измерение отдельных параметров регистрируемых сигналов с заданной точностью. Суммарная погрешность измерения в цифровых запоминающих осциллографах (ЦЗО) определяется, в основном, двумя составляющими: погрешностью дискретизацией сигнала по времени и погрешностью цифрового измерения значения сигнала в точках отсчета.

Основными составляющими погрешности дискретизации во времени являются погрешности оцифровки, связанные с нестабильностью частоты времязадающего генератора, и апертурной неопределенностью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Их можно минимизировать за счет использования кварцевых синтезаторов частоты со стабильностью на уровне $10^{-7}..10^{-9}$ и АЦП с малой апертурной неопределенностью [1].

Первой важной составляющей погрешности цифрового измерения значения сигнала в точках отсчета является погрешность квантования, значение которой тесно связано с интервалом квантования и разрядностью используемого АЦП:

$$\varepsilon_{\text{кв}} = \pm q/2 = \pm U_{\text{вх}}/2^n$$

где q – минимальный шаг квантования; $U_{\text{вх}}$ – амплитудное значение входного диапазона АЦП; n – разрядность АЦП. Погрешность квантования можно отнести к разряду методических погрешностей, так как она присуща выбранному методу измерения [2].

Второй существенной составляющей погрешности измерения напряжения в ЦЗО является инструментальная погрешность входного аналогового тракта, которая, в свою очередь, делится на динамическую и статическую погрешности преобразования [3].

Динамическая погрешность обусловлена, в основном, инерционностью измерительных элементов аналогового тракта и АЦП. Она определяется конечной длительностью переходных процессов тракта и изменением сигнала в процессе квантования. В этой связи, важным вопросом для ЦЗО является выбор обоснованного соотношения частоты дискретизации и верхней частоты полосы пропускания аналогового тракта.

Для случая линейной интерполяции, когда сигнал на участке дискретизации t_d заменяется прямой линией, можно считать, что аналоговый тракт имеет частотную характеристику идеального фильтра с частотой

среза $\omega_c = 2\pi/t_d$. Тогда при подаче единичной функции на его вход переходная функция на выходе будет равна

$$H(t) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2\text{Si}\{w_c(t-t_a)\}}{\pi} \right],$$

где t_a – время запаздывания, определяемое фазочастотной характеристикой фильтра; Si – интегральный синус. Время переходного процесса для такого случая $t_n = \pi/\omega_c$ [3]. Следовательно, для того, чтобы линейная интерполяция сигнала на участке t_d не приводила к существенным ошибкам, необходимо выполнение условия:

$$t_d \geq t_n = \pi/\omega_c,$$

$$f_d \leq 2 f_c.$$

Отсюда следует, что если значение граничной частоты ЦЗО в два и более раз меньше максимальной частоты дискретизации, то инструментальной динамической ошибкой амплитудных измерений можно пренебречь, по сравнению с методической погрешностью дискретизации во времени.

Статическая погрешность при неизменном входном сигнале обуславливается неточностью настройки, изменением в процессе эксплуатации коэффициентов усиления входного тракта, смещением нулевого уровня прибора, влиянием внешних условий на параметры аналогового тракта и АЦП. Схемотехнический и технологический способы уменьшения этой погрешности [3] при разработке осциллографа дают положительный результат, но уступают по эффективности применению автоматической коррекции статической погрешности аналогового тракта.

Считая шаг квантования по уровню малым, по сравнению со статической погрешностью, передаточную характеристику измерительного устройства можно представить в виде непрерывной линейной функции:

$$x' = x(1 + \alpha) + V_{\text{см}},$$

где α – мультипликативная составляющая погрешности, обусловленная отклонением коэффициента чувствительности прибора от номинального значения; $V_{\text{см}}$ – абсолютная аддитивная составляющая погрешности, определяющая смещение нулевого уровня прибора; x' – измеренный результат; x – истинное значение измеряемой величины.

Для исключения аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности при коррекции амплитудной характеристики аналогового тракта ЦЗО необходимо проводить контрольные измерения не менее, чем по двум различным образцовым мерам, причем одну из них удобно принимать равной нулю [4].

