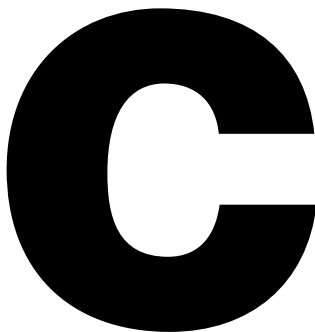


## Экспериментальное исследование погрешностей современных ЦИУ

Приводятся данные о зависимости погрешности современных цифровых приборов от значения измеряемой величины, на основании которых предлагаются соответствующие изменения и дополнения к методике выбора показаний, проверяемых при поверке таких приборов по МИ 1202–86



### Н.Н. Вострокнутов

доцент кафедры «Электрические измерения» ФГАОВ ДПО АСМС, Москва, Россия, vostrkit@yandex.ru, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Современные микропроцессорные цифровые измерительные устройства (МЦИУ) электрических величин — амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии и т.п. — представляют собой (рис. 1) объединение быстродействующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) или нескольких АЦП (например, в счетчиках), построенных по одному из известных принципов, и вычислительного микропроцессорного устройства МК [1]. АЦП измеряет мгновенные значения процесса  $X(t)$  (силы тока и/или напряжения) несколько раз в течение периода наивысшей существенной гармоника спектра этого процесса. Выбор числа отсчетов делается на основе известной теоремы В.А. Котельникова [2].

Для МЦИУ результатом измерения в подавляющем большинстве случаев является не значение физической величины, а параметр процесса  $X(t)$ , например действующее значение напряжения произвольной формы. В частном случае значение физической величины может рассматриваться как параметр процесса, не изменяющегося во времени. Так, постоянные ток или напряжение рассматриваются как не зависящие от времени процессы (мгновенные значения величины, действующее и средние значения процесса равны друг другу).

Результаты  $x_i$  прямых измерений мгновенных значений процесса, выполняемых с помощью АЦП, запоминаются, например, в стеке типа «первый вошел — первый вышел»<sup>1</sup>. Тем самым содержимое стека представляет собой  $N$ -мерный вектор  $X[N] = \|x_i\|$ .

Микропроцессор МК обрабатывает вектор  $X[N]$  в соответствии с алгоритмом (программой)  $\Psi\{X[N]\}$ . Результатом этой обработки (расчета) является

показание МЦИУ — оценка  $Y$  измеряемого параметра процесса  $X(t)$ .

Кроме описанной основной функции, на микропроцессор возлагается ряд вспомогательных функций: контроль состояния и работоспособности, автоматическая коррекция погрешностей АЦП (в том числе устранение дифференциальной нелинейности [3]), передача результатов измерений, получение и реализация команд управления работой МЦИУ по одному из стандартных интерфейсов и т.п.

В [1] дан общий анализ погрешностей современных ЦИУ, которые далее будем называть микропроцессорными из-за отсутствия подходящего официального термина, там же показано, что в соответствии с [4] такие ЦИУ следует рассматривать, как измерительно-вычислительные комплексы или измерительные каналы [5], а не измерительные приборы.

Отметим существенную особенность составляющей погрешности, обусловленной квантованием измеряемой величины (мгновенных значений измеряемого процесса) по уровню в МЦИУ. Сначала квантование выполняется в АЦП, имеющем сравнительно небольшое число разрядов выходного кода. Пусть допускаемая погрешность АЦП равна 0,05 %, а единица младшего разряда в пять раз меньше, тогда число десятичных разрядов показания АЦП равно 4–5 (около 14 двоичных разрядов, что соответствует максимальному показанию 18384), номинальная степень квантования АЦП равна  $q_{adc} = 1$ . Погрешность, обусловленная квантованием, входит в состав наследуемой составляющей погрешности МЦИУ [1]. Вычисление в микропроцессоре выполняется с существенно большим числом разрядов, поэтому результат вычисления может иметь, например,

<sup>1</sup> Fi – Fo = First in – First out

### ключевые слова

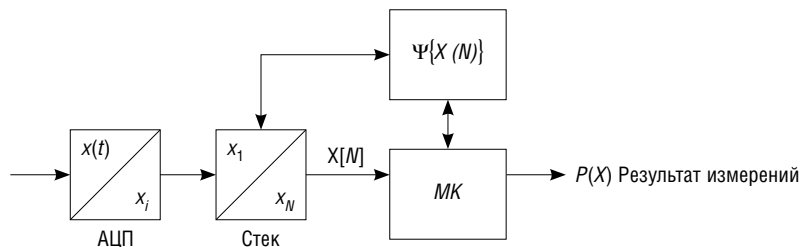
микропроцессорные цифровые измерительные устройства, результат измерения, погрешности, предел допускаемой погрешности

до 30 десятичных разрядов. В соответствии с [6, 7] на отсчетное устройство ЦИУ в рассматриваемом примере следует выводить не более 4–5 разрядов, тем самым осуществляя округление результата вычисления – повторное квантование.

В [1] показано, что единственный документ [8], регламентирующий методику поверки ЦИУ, может быть распространен на поверку микропроцессорных МЦИУ, хотя ряд его положений требует проверки и уточнения. В их числе вопрос о выборе проверяемых показаний. В соответствии с [9] для обоснованного решения этого вопроса необходимо знать свойства зависимости погрешности и ее составляющих от значения измеряемой величины для приборов конкретного принципа действия. Достаточно полно и точно определить эти свойства можно только на основании анализа принципиальных схем и принципов действия ЦИУ и его структурных компонентов, поскольку ни в литературе, ни в доступной технической документации на микропроцессорные ЦИУ нет ни необходимой информации, ни принципиальных схем. В таких условиях возможен паллиативный подход к решению этого вопроса, основанный на экспериментальном изучении необходимых зависимостей для конкретных образцов выпускаемых ЦИУ. Автор приводит результаты таких исследований и делает практические выводы из этих результатов.

Исследования проводились на двух приборах: щитовом вольтметре постоянного напряжения PZ195U [10] и мультиметре АРРА 207 [11] на пределах измерения постоянного и переменного напряжений. На основании изучения документации [10, 11] можно предположить, что у испытуемых приборов вычисление действующих значений напряжений и токов выполняется без использования преобразования Фурье. В качестве эталона на постоянном токе использовался калибратор В1-13, а на переменном токе – прибор В1-9.

Прибор PZ195U имеет предел измерения  $X_K = 500$  В постоянного напряже-



**Рис. 1.** Структурная схема МЦИУ [Block diagram of microprocessor-based digital measuring devices]

ния. Перегрузочная способность, принимаемая за нормирующее значение  $X_N$ , равна 600 В. Класс точности 0,2 при нормирующем значении 600 В, пределы основной допускаемой абсолютной погрешности равны  $\pm 1,2$  В. Цена единицы младшего разряда (ЕМР) показаний  $q = 0,1$  В. Данные о ступени квантования АЦП, входящего в состав прибора, в документации отсутствуют. В соответствии с [8] коэффициент

$$\beta = \frac{\Delta_{0P}}{q} = 12 \quad (= 12 \text{ ЕМР}).$$

Из приведенных данных следует, что прибор как **щитовой** имеет неоправданно сложную конструкцию и неинформативный младший разряд показаний (лишний!) [6].

В описании указано, что по мгновенным значениям входного процесса вычисляется действующее значение напряжения. Формула вычислений не приведена. Если вычисления выполняются по формуле

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2},$$

то показания прибора соответствуют геометрической сумме действующих значений постоянной составляющей входного процесса и всех наводок переменного напряжения. Что происходит на самом деле, установить по техническому описанию невозможно. Также невозможно судить о частотном спектре учитываемых наводок, так как в описании не указано быстроедействие АЦП, входящего в состав МЦИУ.

Учитывая изложенное, все эксперименты выполняются при практически постоянном входном напряжении (пульсации менее  $0,1 \cdot q$ ), воспроизводимом от эталона – калибратора В1-13. Предел воспроизведения равен 1000 В, предел допускаемой основной погреш-