

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).

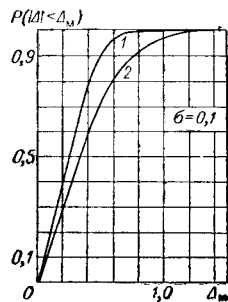


Рис. 1.

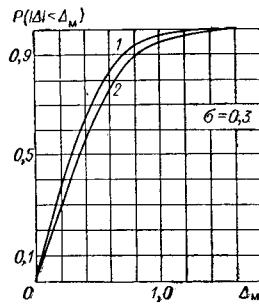


Рис. 2.

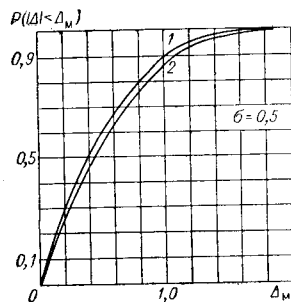


Рис. 3.

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

максимальной величины выходного сопротивления R_x . Этот недостаток особенно существен для цифровых вольтметров высокой точности, так как, несмотря на сложность и относительно высокую стоимость цифровых вольтметров, резко ограничивает возможности их использования. В связи с этим, естественно, возникает задача автоматической коррекции указанной погрешности. При этом за счет относительно небольшого усложнения цифрового вольтметра можно существенно расширить область его использования. В настоящей работе рассматриваются возможные способы автоматической коррекции влияния выходного сопротивления источника измеряемого напряжения, которые могут быть использованы в цифровых вольтметрах.

В цифровых вольтметрах применяются два основных вида схем сравнения — схема сравнения напряжений (рис. 1, а) и схема сравнения токов (см. рис. 1, б).

Можно показать (для схемы рис. 1, а), что цифровой результат измерения N , который связан с величиной компенсирующего напряжения масштабным коэффициентом $N = m_U U_k$, будет иметь вид

$$N = m_U \left(U_x - \Delta U \frac{R_x + R_{yc} + R_k}{R_{yc}} \right), \quad (1)$$

где m_U — масштабный коэффициент;

U_x — измеряемое напряжение;

ΔU — порог чувствительности устройства сравнения (УС);

R_x — сопротивление источника измеряемого напряжения U_x ;

R_{yc} — входное сопротивление устройства сравнения;

R_k — выходное сопротивление компенсационной цепи.

Выражение (1), полученное с точностью до шага дискретности, может быть записано в общем виде так:

$$N = m_U (U_x - A).$$

Таким образом, наличие сопротивления R_x вызывает постоянную абсолютную погрешность, не зависящую от величины U_x , т. е. приводит к смещению характеристики прибора.

Самый неблагоприятный случай тот, когда $R_x > (R_{yc} + R_k)$. При этом величина смещения будет приблизительно равна

$$A \approx \Delta U \frac{R_x}{R_{yc}},$$

и определить ее можно путем шунтирования входа УС сопротивлением, равным сопротивлению УС; $R_3 = R_{yc}$. Показание вольтметра изменится на величину $\Delta N = m_U A_3$, где A_3 — дополнительное смещение, полученное после шунтирования входа УС сопротивлением R_3 . Величина суммарного смещения равна

$$+ A, = \Delta U \frac{2 R_x}{R_{yc}},$$

откуда

$$A = A_3 = \frac{\Delta N}{m_U}.$$

Значит, по величине изменения показания вольтметра ΔN можно определить величину погрешности и учесть ее при считывании результата измерения U_x .

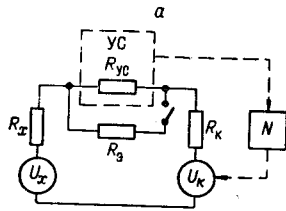


Рис. 1.

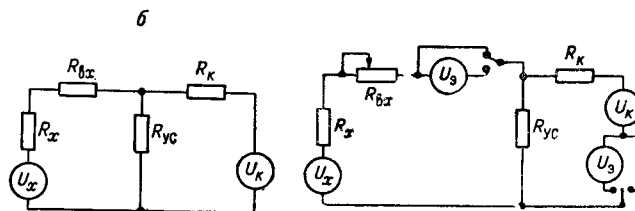


Рис. 2.

Иначе обстоит дело со схемой сравнения токов (см. рис. 1, б). Анализируя схему сравнения токов, можно получить выражение для результата измерения

$$N = \frac{m_U R_k}{R_x + R_{вх}} \left[U_x - \Delta U \frac{(R_{вх} + R_x)(R_k + R_{уС}) + R_k R_{уС}}{R_k R_{уС}} \right].$$

Наличие сопротивления R_x приводит к изменению коэффициента перед U_x , т. е. к изменению чувствительности. Влиянием же R_x на смещение можно пренебречь, так как оно незначительно.

Для осуществления коррекции погрешности, вызванной изменением чувствительности вольтметра, после измерения U_x в цепи измеряемого и компенсирующего напряжений включаются одновременно два одинаковых источника напряжения U_3 , имеющих относительно малое или известное внутреннее сопротивление (рис. 2). Если внутреннее сопротивление источника измеряемого напряжения равно нулю, то подключение одинаковых напряжений не нарушит равновесия цепи, и напряжение на входе УС останется по-прежнему меньше величины порога чувствительности УС. Если же $R_x \neq 0$, то при подключении источников напряжения U_3 в цепях U_x и U_k появятся разные токи от U_3 , вызываемые этими источниками. На входе УС появится некоторый сигнал, который может превысить порог чувствительности УС, и последнее начнет выдавать импульсы. При этом вход счетчика необходимо отключить от УС, а импульсы с УС использовать как признак отсутствия равновесия в схеме сравнения.

Входное сопротивление $R_{вх}$ прибора необходимо сделать переменным и изменять его до тех пор, пока не восстановится равновесие в схеме сравнения. Чувствительность вольтметра при этом изменится от значения

$$m_0 = \frac{m_U R_k}{R_x + R_{вх}}$$

в момент первого измерения (до коррекции) до значения m_1 , которое оказывается ближе к значению m , соответствующему чувствительности при $R_x = 0$ (рис. 3).

После регулировки источники напряжения U_3 отключаются, и производится новое измерение напряжения U_x . При этом результат измерения N_{x1} будет более точным.

Абсолютная погрешность измерения до проведения коррекции равна

$$\delta_0 = N_x - N_{x0} = (m - m_0) U_x,$$

а после коррекции

$$\delta_1 = N_x - N_{x1} = (m - m_1) U_x.$$

Из рис. 3 следует, что чувствительность после проведения одной регулировки $R_{вх}$ составляет

$$m_1 = \frac{N_{x0} + N_3}{U_x + U_3} = \frac{m_0 U_x + m U_3}{U_x + U_3}. \quad (2)$$

Отношение абсолютных погрешностей измерения до и после коррекции с учетом (2) примет вид

$$\frac{\delta_0}{\delta_1} = \frac{U_x + U_3}{U_x} = 1 + K,$$

где

$$K = \frac{U_3}{U_x}.$$

Одна регулировка обеспечивает уменьшение погрешности в $(1 + K)$ раз, однако не сводит ее к нулю. После первой регулировки можно провести аналогичным образом вторую, и погрешность вновь уменьшится в $(1 + K)$ раз. Так как с каждой последующей регулировкой погрешность уменьшается в $(1 + K)$ раз, то величины погрешно-

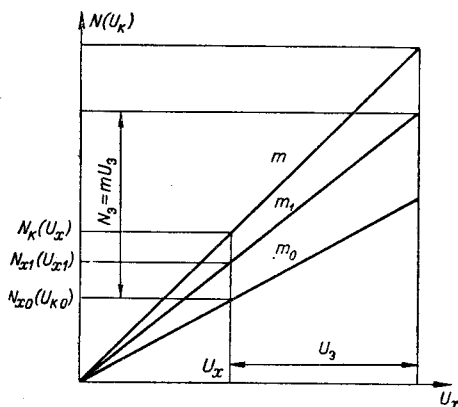


Рис. 3.

стей будут представлять геометрическую прогрессию со знаменателем $q = \frac{1}{1 + K}$.

После n -й регулировки погрешность будет иметь вид

$$\delta_n = \delta_0 \left(\frac{1}{1 + K} \right)^n.$$

Задаваясь минимальной погрешностью, которую необходимо получить после коррекции, можно найти выражение для необходимого числа регулировок

$$n \geq \frac{\log \delta_0 - \log \delta_n}{\log (1 + K)}.$$

Результаты первых экспериментов подтверждают возможность проведения по изложенной методике автоматической коррекции погрешностей, вызванных конечностью входного сопротивления прибора. Наиболее просто удается осуществлять коррекцию в приборе по схеме сравнения токов. При этом в качестве переменной части входного сопротивления удобно применять переменное проволочное сопротивление с внутренним редуктором, управляемое микродвигателем.

*Поступило в редакцию
23 мая 1966 г.,
окончательный вариант —
22 октября 1966 г.*
