

### Л и т е р а т у р а

1. Бамдас А.М., Савиновский Ю.А. Дроссели переменного тока радио-электронной аппаратуры. "Советское Радио", 1969.
2. Дикань А.И. Использование уравнений высших порядков для моделирования статического гистерезиса. Труды ГПИ, т.31, в.2, 1975.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. "Наука", 1973.

*Тюбровенко - 014*

В. А. Брондукова

### АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИНТЕГРО-ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

*Сильва  
Реша*

Современные измерительные приборы разделяются на аналоговые и цифровые. Несмотря на ряд существенных различий, структурные принципы построения этих приборов в основном аналогичны. Но некоторые специфические особенности дискретной измерительной техники дают возможность получить новый структурный принцип построения цифровых приборов, который не раскрыт полностью в литературе, хотя есть отдельные работы, посвященные описанию ряда ЦВ, основанных на нем [2].

Целью статьи является рассмотрение этого структурного принципа построения ЦИП, позволяющего значительно повысить его точность и полный диапазон, а также получить ряд дополнительных преимуществ.

В основе принципа заключена возможность проведения первичной обработки результатов ряда измерений.

Структурный принцип построения такого ЦИП может быть раскрыт с помощью структурной схемы ЦВ, приведенной на рис.1.

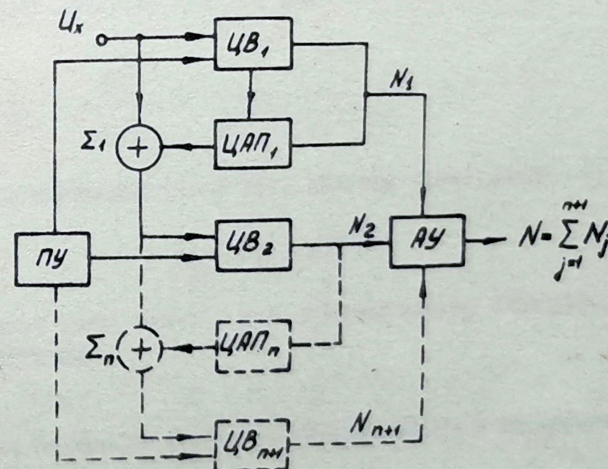


Рис. 1

Структурная схема интегро-потенциметрического цифрового вольтметра: ПУ - программное устройство; Σ - сумматор; ЦВ - цифровой вольтметр; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь; АУ - арифметическое устройство

*сильва Брондукова*

Зададим следующий алгоритм работы структуры: с приходом сигнала начала измерений ПУ выдает команду для измерения входного сигнала  $U_x$  первым вольтметром ЦВ1. По окончании работы ЦВ1 заносит свои показания  $N_1$  в АУ и ЦАП. ЦАП выдает напряжение  $U_K$ , которое, складываясь с  $U_x$  ( $U_x - U_K = \pm \Delta U$ ), поступает на ЦВ2. С ПУ выдается команда для измерения вторым вольтметром разностного напряжения  $\pm \Delta U$ . Измеренное значение  $N_2$  подается в АУ и в зависимости от знака ЦВ2 это значение прибавляется или вычитается из  $N_1$ . Результат суммирования  $N_1$  и  $N_2$  является общим показанием устройства. Аналогично составляется алгоритм при использовании нескольких ЦВ.

Определим уравнение преобразования данной структуры на примере обработки результатов измерений двумя ЦВ.

Для упрощения вывода примем, что нормированное значение входного напряжения  $U_H = 1\text{В}$ , обработка измерений ведется в десятичной системе счисления, а ЦАП не имеет погрешности.

Пусть АУ имеет  $m$  разрядов, из которых  $n$  старших разрядов приходится на ЦВ1. В этом случае показание АУ

$$N = 10^{m-n} N_1 + N_2. \quad (1)$$

Уравнение преобразования для ЦВ1 с любым принципом действия имеет вид

$$N_1 = S_1 \sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1}, \quad (2)$$

где  $S_1$  - действительное значение чувствительности ЦВ1;

$\sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1}$  - числовой эквивалент напряжения  $U_x$ ;  $n' = n+1$ ;

$a_{ki}$  - действительное значение разрядного коэффициента, соответствующего напряжению  $U_x$ .

Для десятичных декад при нормированном пределе  $U_H = 1\text{В}$  числовой эквивалент напряжения

$$(U_x)_{m-n'}^m = \left( \sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \right) \text{В}. \quad (3)$$

Номинальное значение чувствительности ЦВ1 в этом случае определяется выражением

$$S_{1H} = \frac{10^n}{U_H} = \frac{10^n}{\text{В}}. \quad (4)$$

Уравнение преобразования для ЦВ2, также с любым принципом действия:

$$N_2 = S_2 \Delta U = S_2 (U_x - U_K) = S_2 \left( U_x - V_{оп} \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1} \right), \quad (5)$$

где  $S_2$  - действительное значение чувствительности ЦВ2;  
 $U_x$  - входное напряжение;

$U_K = V_{оп} \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1}$  - напряжение на выходе ЦАП;

$a'_{ki}$  - действительное значение разрядного коэффициента, соответствующего  $N_1$ .

При нормированном значении  $V_{оп} = 1\text{В}$

$$U_K = \left( \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \right) \text{В}.$$

Номинальная чувствительность ЦВ2

$$S_{2H} = \frac{10^{m-n}}{\Delta U_H} = \frac{10^{m-n}}{10^{m-n} \cdot 10^{-m} \cdot 1\text{В}} = \frac{10^m}{\text{В}}. \quad (6)$$

Используя выражения (4) и (6), находим связь между  $S_{2H}$  и  $S_{1H}$ :

$$S_{2H} = S_{1H} \cdot 10^{m-n}. \quad (7)$$

Аналогичная связь будет и для действительных значений чувствительности обоих ЦВ:

$$S_2 = S_1 \cdot 10^{m-n}. \quad (8)$$

Показание на выходе АУ теперь преобразуется в выражение

$$N = 10^{m-n} N_1 + N_2 = 10^{m-n} \left[ S_1 (U_x)_{m-n'}^m \right] \pm \left[ S_2 (U_x - V_{оп} \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}) \right]. \quad (9)$$

Выражение (9) является уравнением преобразования рассматриваемой структуры. Знак "+" перед вторым членом будет в том случае, если полярности  $U_x$  и  $\Delta U$  совпадают, знак "-", если они противоположны.

Из уравнения преобразования видно, что оно выражает результат математической обработки измерений двух приборов. Такая структура имеет все основные признаки информационно-измерительной системы (автоматизация процесса измерения, первичная обработка результатов измерений) и остается равносильной с любыми ЦИП.

Уравнения преобразования, устанавливая связь между входной и выходной величинами, не раскрывают принципов построения, входящих в систему ЦВ, которые могут быть кодо-импульсными, время-импульсными, интегрирующими и т.д. Из различных вариантов предпочтительным будет тот, в котором ЦВ1 и ЦВ2 - интегрирующего типа. В этом случае структура будет сочетать высокую помехозащищенность интегрирующих вольтметров и точность кодо-импульсных, благодаря использованию ЦАП.

Применение однотипных ЦВ очевидно целесообразнее, ввиду использования одних и тех же узлов в объединенной структуре.

Итак, рассматриваемую структуру, исходя из ее основного содержания, можно назвать информационно-измерительным прибором или ЦВ с первичной обработкой результатов измерения, либо по принципу действия основных преобразователей - интегро-потенциометрическими ЦВ.

Проанализируем погрешность данной структуры, определяемую чувствительностью ЦВ1 и ЦВ2.

Действительные значения  $S_1$  и  $S_2$ :

$$S_1 = S_{1H} + \Delta S_1, \quad (10)$$

$$S_2 = S_{2H} + \Delta S_2. \quad (11)$$

С учетом (10) уравнение преобразования (9) можно представить:

$$N = 10^{m-n} S_{1H} (u_x)_{m-n}^m + 10^{m-n} \Delta S_1 (u_x)_{m-n}^m + S_2 (u_x - u_K). \quad (12)$$

В уравнении (12) член  $10^{m-n} \Delta S_1 (u_x)_{m-n}^m$  является числовым значением ( $\Delta N$ ), погрешности чувствительности ЦВ1.

Используя (8), представим  $\Delta N$ , в следующем виде:

$$\Delta N_1 = 10^{m-n} \Delta S_1 (u_x)_{m-n}^m \frac{S_2}{S_2} = \quad (13)$$

$$= S_2 \frac{\Delta S_1 \cdot 10^{m-n}}{S_1 \cdot 10^{m-n}} (u_x)_{m-n}^m = S_2 \delta_{S1} (u_x)_{m-n}^m.$$

При чувствительности  $S_{1H}$  номинальному значению  $N_{1H}$  на входе ЦАП будет соответствовать напряжение

$$u_{KH} = (V_{on} \sum_{i=m-n}^m a_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m})_H = \\ = (V_{on} \sum_{i=m-n}^m a'_{Ki} \cdot 10^{i-1} + \delta_{S1} \sum_{i=m-n}^m a_{Ki} \cdot 10^{i-1}) 10^{-m}. \quad (14)$$

Решая совместно (11), (13), (14) и (12), получим выражение для  $N$  с учетом погрешности  $S_2$ :

$$N = 10^{m-n} S_{1H} \left( \sum_{i=m-n}^m a_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \right) + S_{2H} (u_x - \\ - V_{on} \sum_{i=m-n}^m a'_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}) + \Delta S_2 (u_x - \\ - V_{on} \sum_{i=m-n}^m a'_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} + \delta_{S1} \sum_{i=m-n}^m a_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}). \quad (15)$$

Так как  $S_{2H} = S_{1H} \cdot 10^{m-n}$ ,

а

$$u_x - V_{on} \sum_{i=m-n}^m a_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} = \sum_{i=1}^{m-n} a_{Ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}, \quad (16)$$

то в выражении (15) сумма первых двух членов будет

$$10^{m-n} S_{1H} \left( \sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \right) + 10^{m-n} S_{1H} \left( \sum_{i=1}^{m-n} a_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \right) = \quad (17)$$

$$= 10^{m-n} S_{1H} U_x.$$

Тогда

$$N = 10^{m-n} S_{1H} U_x + S_2 \delta_{S_2} (U_x - V_{on} \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}) +$$

$$+ S_2 \delta_{S_1} \delta_{S_2} \sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m}.$$

Учитывая, что

$$\sum_{i=m-n'}^m a_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} \approx U_x, \quad S_2 \approx S_{2H}, \quad U_x - V_{on} \sum_{i=m-n'}^m a'_{ki} \cdot 10^{i-1} \cdot 10^{-m} = \Delta U.$$

получим:

$$N = 10^{m-n} S_{1H} U_x + S_{2H} \delta_{S_2} \Delta U + S_{2H} \delta_{S_1} \delta_{S_2} U_x. \quad (18)$$

В уравнении (18) не учтена погрешность ЦАП, следовательно, его действительные и номинальные значения разрядных коэффициентов равны.

С учетом погрешности ЦАП

$$a_{ki} = (a_{ki})_H + \Delta a_{ki}. \quad (19)$$

Подставляя (19) в (16), после ряда аналогичных преобразований уравнение (15) преобразуется к следующему виду:

$$N = 10^{m-n} S_{1H} U_x + 10^{m-n} S_{1H} \delta_K (U_x)_{m-n'}^m +$$

$$+ S_{2H} \delta_{S_2} \Delta U + S_{2H} \delta_{S_1} \delta_{S_2} U_x, \quad (20)$$

откуда

$$\Delta N = 10^{m-n} S_{1H} \delta_K (U_x)_{m-n'}^m + S_{2H} \delta_{S_2} \Delta U + S_{2H} \delta_{S_1} \delta_{S_2} U_x, \quad (21)$$

где  $\delta_K$  - погрешность ЦАП.

Из уравнения (21) видно, что погрешность измерения рассмотренной структуры в основном определяется погрешностью ЦАП, так как погрешности чувствительности ЦВ1 и ЦВ2 ( $\delta_{S_1}$  и  $\delta_{S_2}$ ) оказывают сравнительно небольшое влияние; в частности, при  $\delta_{S_2} \rightarrow 0$  погрешность  $\delta_{S_1}$  практически не имеет значения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шляндин В.М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы. "Высшая школа", 1973.
2. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. "Высшая школа", 1973.