

Н. И. ГОРЕЛИКОВ, А. Н. КАСПЕРОВИЧ,
И. И. КОРШЕВЕР, М. П. ЦАПЕНКО

(Новосибирск)

О ПОСТРОЕНИИ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Показывается целесообразность создания цифровых измерительных приборов с переменной структурой, обеспечивающих наибольшее быстродействие при различном характере изменения измеряемой величины. Описывается блок-схема прибора с переменной структурой.

В настоящее время разработано большое число автоматически действующих цифровых измерительных приборов и аналого-цифровых преобразователей, предназначенных для использования в самых различных областях науки и техники.

Автоматические цифровые измерительные приборы (АЦИП) строятся главным образом по одному из известных методов уравнивания: поразрядному, следящему, развертывающему или по методу совпадения [1].

Однако АЦИП, основанные на каком-либо одном методе уравнивания, не являются оптимальными при различных видах поведения измеряемой величины. Так, приборы следящего уравнивания позволяют непрерывно следить за изменением измеряемой величины, выдавать информацию о приращении величины на заданное значение и т. п. Вместе с тем, они не являются оптимальными по быстродействию, если распределение вероятностей появления измеряемой величины близко к равномерному, а ее автокорреляционная функция сравнительно быстро принимает значения, близкие к нулю. Приборы поразрядного уравнивания, наоборот, в этих условиях могут обеспечить большее быстродействие. Создание приборов развертывающего уравнивания, обладающих меньшим (по сравнению с приборами поразрядного уравнивания) быстродействием, оправдывается простотой устройства управления. Приборы, основанные на способе совпадения, обладают максимальным быстродействием, но имеют довольно много структурных элементов, в силу чего их создание не всегда оправдано с экономической точки зрения.

Исходя из этих качеств, каждый из методов уравнивания, используемый в АЦИП, имеет определенным образом очерченную сферу применения.

В связи с этим, на наш взгляд, целесообразно рассмотреть возможность создания цифровых приборов с переменной структурой, обеспечи-

вающей выбор наилучшего способа уравнивания в зависимости от свойств измеряемой величины.

Примером измерений, при которых желательнее изменять способ уравнивания, могут служить некоторые виды многоточечных измерений, когда в каждой измеряемой точке необходимо получить ряд результатов измерений через минимальные интервалы времени.

Если иметь в виду получение максимального быстродействия для разных видов входного сигнала, то в приборе имеет смысл использовать, как правило, только два метода уравнивания — следящий и поразрядный. Метод развертывающего уравнивания по сравнению с поразрядным с точки зрения быстродействия выгоды не дает. В то же время прибор, основанный на использовании метода совпадения, всегда по быстродействию лучше приборов, основанных на методах уравнивания, для любых видов входного сигнала. Поэтому, если метод совпадения уже использован в приборе, то изменять структуру прибора и осуществлять иной вид уравнивания нецелесообразно.

Заметим, что в некоторых случаях может оказаться полезной структура прибора, обеспечивающая также выполнение неравномерного следящего уравнивания.

Прибор, обеспечивающий наибольшее быстродействие в соответствии с видом входного сигнала, можно было бы создать путем простой комбинации АЦИП, основанных на разных методах уравнивания, с некоторым устройством, подключающим по выбранному критерию измеряемую величину ко входу одного из них. Нерациональность такого подхода очевидна. Более перспективным представляется создание измерительного прибора, в котором максимально используются элементы, общие для приборов различных видов уравнивания.

Кратко остановимся на особенностях схем и элементов АЦИП, в которых реализуются различные методы уравнивания.

Цифровой прибор уравнивания, как известно, состоит из следующих основных узлов: устройства формирования образцовой величины (УФОВ), устройства сравнения измеряемой и образцовой величин (УС) и устройства управления (УУ). В состав устройства формирования образцовой величины входят: источник образцовой величины (ОВ), устройства, предназначенные для изменения его значений, и ключи, управляемые УУ.

Закон изменения значений образцовой величины определяется УУ, и, следовательно, одно и то же УФОВ может быть использовано в приборах различного вида уравнивания.

Устройства сравнения, используемые в АЦИП, отличаются, как правило, числом состояний, которые может принимать их выходной сигнал. Очевидно, что УС, выходной сигнал которого может принимать три состояния — «больше», «равно» и «меньше», может быть использовано в приборах любого способа уравнивания.

В АЦИП следящего уравнивания УУ строится как реверсивный счетчик по какой-либо из известных схем [2], каждая ячейка которого управляет ключом УФОВ, а УС в этом случае управляет направлением счета. В АЦИП поразрядного уравнивания УУ состоит из распределителя тактовых импульсов и триггерных ячеек памяти, управляющих ключами УФОВ.

В приборе с изменяющимся способом уравнивания триггерные ячейки могут быть легко организованы в реверсивный счетчик, причем это возможно при использовании любого двоично-десятичного кода, но проще всего реализуется в двоичном коде. При этом лишь надо учитывать, что двоично-десятичные комбинации, перекодируемые в десятич-

ные числа, должны быть одинаковыми как в поразрядной, так и в следящей структуре прибора*.

Следовательно, в АЦИП с изменяющимся способом уравнивания структура прибора поразрядного и следящего уравнивания может быть реализована с использованием одних и тех же элементов с некоторым изменением логических связей УУ.

Приспособление АЦИП к виду входного сигнала, происходящее за счет использования наилучшего в данных условиях способа уравнивания, может рассматриваться как один из видов адаптации измерительных устройств. Заметим, что ряд других типов адаптирующихся приборов впервые был рассмотрен в [3].

Важной задачей при построении подобных адаптирующихся приборов является выбор критерия для оценки характера изменения измеряемой величины, в соответствии с которым должна перестраиваться структура прибора. Рациональный выбор критерия в большой степени определяет сложность устройства, которое будет реализовать адаптацию по этому критерию. Очевидно, что в общем случае такой критерий должен учитывать значения измеряемой величины как в данный момент, так и в предыдущие моменты времени.

В качестве критериев, характеризующих измеряемую величину, может быть выбрана скорость изменения измеряемой величины, статистические характеристики измеряемой величины (например, закон распределения и т. д.). Однако использование этих критериев возможно лишь при применении довольно сложных устройств.

Достаточно эффективным, особенно при наличии резких изменений измеряемой величины, и в то же время простым для реализации критерием может служить значение разности измеряемой и известной величин перед началом измерения (ΔU_i). Действительно, для осуществления уравнивания величины ΔU_i при использовании следящего уравнивания понадобится последовательно выполнить $\frac{\Delta U_i}{U_0}$ операций сравнения (U_0 — цена деления прибора), а при поразрядном уравнивании с двоично-десятичным кодом потребуются $4N$ операций сравнения (N — количество десятичных разрядов прибора).

Если $\Delta U_i = 4NU_0$, то независимо от принятого способа уравнивания время измерения равно $T_{изм} = 4N\tau$, где τ — время выполнения одной операции сравнения.

Если $\Delta U_i < 4NU_0$, то предпочтительнее использовать следящее уравнивание, а если $\Delta U_i > 4NU_0$, то — поразрядное уравнивание. На рис. 1 для примера изображены графики измеряемого и компенсационного напряжений двухразрядного цифрового прибора с кодом 2421. Предположим, что необходимо произвести измерение n независимых величин. При измерении первой величины до точки 1 уравнивание осуществляется поразрядным методом, а затем — следящим. При измерении n -й величины показан случай уравнивания ΔU_n следящим способом. Следует, однако, заметить, что выбранный критерий перехода с одного метода уравнивания на другой эффективен при наличии резких скачков и относительно плавном изменении измеряемой величины в остальное время. В других случаях возможны динамические погрешности прибора при работе его в следящем режиме (см. на рис. 1 уравнивание после точки 3). При этом для рационального выбора метода уравнивания надо вводить устройство, оценивающее скорость изменения измеряемой величины.

* Например, цифра 2 в коде 2421 должна расшифровываться в приборах как поразрядного, так и следящего уравнивания из комбинации 0010.

Рассмотрим более подробно пример измерения, при котором необходимо изменять способ уравнивания. При определении стабильности радиотехнических деталей желательно получить первый отсчет быстро, например, поразрядным методом уравнивания, а последующие отсчеты можно получать за счет использования следящего уравнивания, так как изменения измеряемой величины обычно незначительны. Аналогичные случаи могут иметь место и при некоторых видах многоточечных измерений напряжений.

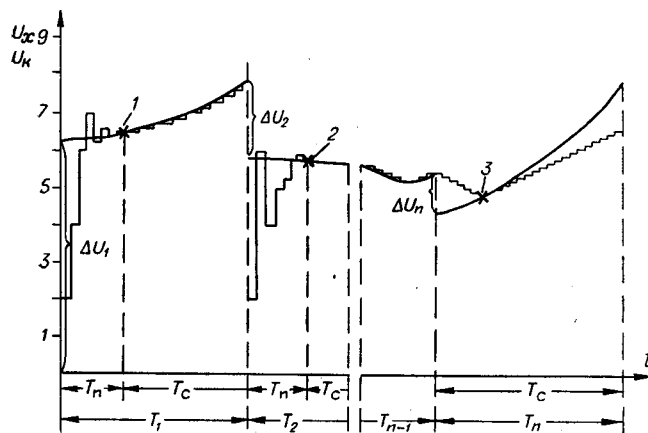


Рис. 1.

Предположим, что сигнал, поступающий на вход АЦИП, имеет вид, представленный на рис. 1 (T — время измерения любого параметра; ΔU_i — приращение измеряемого параметра при смене объекта измерения; n — количество объектов измерения).

Обозначим количество единиц дискретности шкалы прибора m . Будем считать, что поразрядное уравнивание может использоваться только при переключении объектов измерения. Тогда вероятность работы прибора с переменной структурой в поразрядном режиме при предположении, что любое значение внутри диапазона измерения после переключения объекта равновероятно, будет равно

$$P_n = 1 - \frac{4N}{m}. \quad (1)$$

Следовательно, средневременно вероятное время работы АЦИП в поразрядном режиме T_n на каждом объекте измерения определяется

$$T_n = \left(1 - \frac{4N}{m}\right) 4N\tau. \quad (2)$$

Тогда средневременно вероятное время работы прибора в режиме следящего уравнивания можно записать как

$$T_c = T - T_n. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), имеем

$$\frac{T_n}{T_c} = \frac{1}{\frac{k}{1 - \frac{4N}{m}} - 1}, \quad (4)$$

где k — коэффициент кратности соотношения $T = kT_n$.
Из (4) следует, что при $k=1$ (или $T = T_n$)

$$\frac{T_n}{T_c} = \frac{m}{4N} - 1 \approx \frac{m}{4N}.$$

Это минимально возможная средневзвешенная длительность работы прибора на одном объекте измерения при многоточечном контроле, при которой отсчет достоверен. В таком случае в среднем прибор дает один отсчет.

При $k=2$ адаптирующийся прибор в поразрядном и следящем режимах работает в среднем одинаковое время. При больших k прибор работает в следящем режиме большую часть времени.

Заметим также, что адаптация подобного рода может иметь место при любых многоточечных измерениях, где важно на каждой точке получить отсчет, свободный от возможных случайных погрешностей, возникающих при поразрядном уравнивании. Кроме того, применение АЦИП с переменной структурой также целесообразно при измерении величин, имеющих резкие непродолжительные скачки. При этом $1 < k < 2$.

Перейдем теперь к рассмотрению одной из возможных блок-схем автоматического цифрового вольтметра с изменяющимся способом уравнивания (рис. 2). Этот прибор имеет: 1 — источник образцового напряжения; 2 — устройство формирования образцовой величины, т. е. делитель для получения дробных значений образцового напряжения; 3 — устройство сравнения с двумя выходными шинами; 4 — распределитель тактовых импульсов; 5 — триггерные ячейки памяти; 6 — дешифратор преобразования используемого кода в эквивалентный десятичный и цифровое табло; 7 — блок управления цифровым табло; 8 — тактовый генератор; 9 — коммутатор метода уравнивания; 10 — коммутатор направления счета; 11 и 12 — потенциальные триггеры с порогами срабатывания, настроенными на $+4N$ и $-4N$ единиц дискретности соответственно и объединенными по выходу схемой ИЛИ.

Выходными напряжениями потенциальных триггеров 11 и 12 управляется блок коммутатора метода уравнивания 9 так, что устройство сравнения 3 либо управляет направлением счета в двоично-десятичном счетчике 5 с помощью шин I и II, либо управляет сбросом ячеек памяти с помощью шины II.

Прибор, выполняемый по приведенной блок-схеме, работает следующим образом. При подключении измеряемого напряжения U_x ко входу прибор уравнивается поразрядным методом. При этом тактовые импульсы от задающего генератора 8 через коммутатор метода уравнивания 9 и распределитель тактовых импульсов 4 последовательно возбуждают триггерные ячейки памяти 5. С последней ячейки распределителя подается импульс подсветки на цифровое табло 6. Одновременно подается импульс на коммутатор метода уравнивания 9, который переводит прибор в режим слежения.

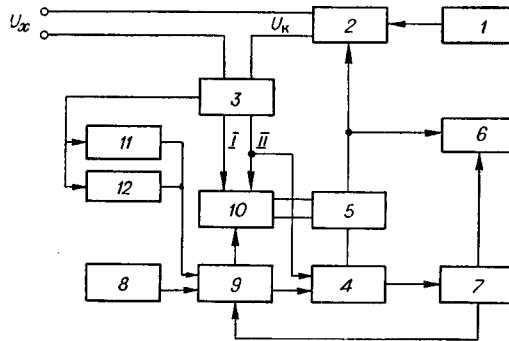


Рис. 2.

Заметим, что переход на режим следящего уравнивания возможен не по окончании всего цикла поразрядного уравнивания, а в тот момент, когда имеет место равенство измеряемой и компенсационной величин. Это не вызовет заметного усложнения прибора, поскольку в приборе имеется устройство сравнения \mathcal{Z} , отмечающее равенство измеряемого и компенсационного напряжений.

При окончании процесса поразрядного уравнивания от распределителя тактовых импульсов задающий генератор отключается и импульсы от него поступают на вход двоично-десятичной реверсивной декады \mathcal{B} , направление счета в которой управляется выходным напряжением по шинам I и II устройства сравнения \mathcal{Z} . Таким образом, прибор работает до тех пор, пока некомпенсированный перепад напряжения на входе устройства сравнения не превысит $4N$ единиц дискретности в ту или другую сторону.

Срабатывание любого из потенциальных триггеров независимо от направления изменения измеряемой величины переводит прибор в поразрядный режим уравнивания. При этом счетные связи реверсивного счетчика запираются по шинам I и II блоком коммутатора направления счета $\mathcal{I}0$, а задающий генератор переключается на распределитель. С приходом первого импульса на первую ячейку распределителя запоминающие устройства переводятся в состояние «0» и первая ячейка возбуждается. Дальше прибор работает как поразрядный, и последняя ячейка распределителя переводит его в следящий режим описанным способом.

Подобный АЦИП, способный перестраивать свою структуру, обладает достоинствами прибора поразрядного уравнивания при значительных изменениях измеряемой величины и следящего прибора при более медленных ее изменениях.

Нам представляется целесообразным продолжать исследования приборов с переменной структурой, предназначенных для улучшения быстродействия и других параметров измерительных устройств. Исследования приборов с переменной структурой оптимального быстродействия могут в дальнейшем проводиться как в направлении усложнения структуры с целью расширения возможностей уравнивания, так и в направлении выбора рациональных критериев, в соответствии с которыми должна осуществляться перестройка структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Чапенко. О классификации цифровых измерительных приборов.— Измерительная техника, 1961, № 5.
2. Р. К. Ричардс. Элементы и схемы цифровых вычислительных машин. М.—Л., Изд-во иностр. лит., 1961.
3. Ф. Е. Темников. Автоматические регистрирующие приборы. М., Машгиз, 1960.

*Поступила в редакцию
26 апреля 1965 г.*