

Н. И. ГОРЕЛИКОВ, В. В. ЕФИМЕНКО, И. И. КОРШЕВЕР
(Новосибирск)

О ЦИФРОВЫХ ПРИБОРАХ ПОРАЗРЯДНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ С НЕРАВНОМЕРНЫМ ЦИКЛОМ КОДИРОВАНИЯ

В статье освещаются вопросы, связанные с построением цифровых приборов поразрядного уравнивания с повышенным быстродействием. Повышение быстродействия достигается за счет того, что цифровое кодирование в этих приборах осуществляется с неравномерным циклом. Проводится анализ устройств управления цифровых приборов, которые позволяют наиболее просто реализовать указанный принцип кодирования. Даются рекомендации по выбору двоично-десятичного кода для такого рода приборов и рассматривается возможность построения декады с переменной кодовой структурой.

В автоматических цифровых измерительных приборах (АЦИП) поразрядного уравнивания (в случае применения двоично-десятичного кода) для того, чтобы провести уравнивание в одном десятичном разряде, обычно выполняют четыре операции сравнения измеряемой величины с известной. В действительности можно обойтись меньшим средним количеством операций сравнения. Для этого необходимо алгоритм уравнивания строить таким образом, чтобы те операции сравнения измеряемой величины с известной, при которых результат сравнения может быть предсказан заранее, исключались. Например, при использовании кода 5211, если значение измеряемой величины находится в диапазоне 0—3* или 5—8, можно не производить сравнение в четвертом двоичном разряде с весом «1». АЦИП, реализующий такой алгоритм, условно назовем АЦИП с неравномерным циклом кодирования. В [1] показано, что при таком алгоритме процесса уравнивания среднее количество сравнений, необходимое для измерения неизвестной величины, уменьшается и среднее быстродействие АЦИП повышается на 15—25%. Выигрыш в количестве тактов опроса, достигаемый таким образом, зависит от статистических свойств измеряемой величины и от вида выбранного двоично-десятичного кода, причем для данного закона распределения вероятностей появления отдельных значений измеряемой величины существует один или несколько кодов, дающих в среднем минимальное количество сравнений.

Очевидно, таким чисто структурным путем можно повысить быстродействие АЦИП, если выбирать код, учитывая закон распределения измеряемой величины. Можно принять, что при любом гладком законе распределения измеряемой величины на входе старшей декады АЦИП

* Здесь и далее в указанные диапазоны не входит верхняя точка шкалы.

закон распределения измеряемой величины, действующей на входе второй декады, достаточно близок к равномерному. Тогда это будет тем более справедливо для последующих младших декад: третьей, четвертой и т. д.

Поэтому для получения максимального быстродействия АЦИП в старшей декаде следует применять один из кодов, оптимальных для данного закона распределения измеряемой величины, а в остальных декадах — код, оптимальный для случая равномерного закона распределения измеряемой величины.

Если закон распределения измеряемой величины неизвестен, то при построении старшей декады следует предусматривать возможность изменения ее кодовой структуры в зависимости от закона распределения измеряемой величины. Такого рода адаптация имеет смысл тогда, когда заранее нет сведений о законе распределения измеряемой величины, но по истечении некоторого времени есть возможность накопить их.

Указанный подход к выбору кода особенно целесообразен в сложных измерительных информационных системах [2] со статистической обработкой информации.

В связи с этим представляет интерес рассмотреть возможность построения первой декады АЦИП с переменной кодовой структурой, т. е. декады, в которой можно было бы менять код в зависимости от закона распределения измеряемой величины. Описываемый метод повышения быстродействия АЦИП приобретает особое значение при конструировании специализированных приборов, предназначенных для автоматического контроля параметров изделий в поточном производстве, где закон распределения контролируемых величин может быть получен в результате обработки данных измерений.

Если значение измеряемой величины заранее известно в пределах старших декад или в этих пределах имеется малое рассеяние, что имеет место при контроле стабильности параметров многих радиотехнических деталей (например, стабилитронов), то в качестве декады с переменной структурой может быть рассмотрена и любая другая декада, в которой происходят изменения параметра.

Теоретические вопросы, связанные с выбором кода в зависимости от закона распределения измеряемой величины, рассмотрены в [1].

Использование описанного выше алгоритма уравнивания и выбор кода в АЦИП, обеспечивающего минимальное среднее число операций сравнения при наиболее простой схеме технической реализации, насколько известно авторам, еще нигде не освещались. Эти вопросы рассматриваются в настоящей статье.

Особенности устройства управления АЦИП при неравномерном цикле кодирования

Практически принцип кодирования с неравномерным циклом сравнительно легко реализуется в АЦИП. Для этого необходимо работу устройства управления (УУ) организовать так, чтобы после сравнения известной величины, начиная со старшего разряда, с неизвестной необходимостью этой операции для последующих разрядов определялась результатом предыдущих сравнений.

Информацию о результате текущего сравнения можно получать непосредственно от релейного элемента устройства сравнения, информацию о результате предыдущих сравнений — с ячеек памяти соответ-

ствующих разрядов. Обозначим состояния релейного элемента устройства сравнения y_j, \bar{y}_j , а состояния элементов памяти двоичных разрядов декады — x_i, \bar{x}_i , где j — номер двоичного разряда, в котором производится сравнение, а i — номер разряда, которому соответствует данная ячейка памяти. Тогда сигналом о том, что последующий разряд можно не опрашивать, будет набор определенной комбинации двоичных переменных x, y .

Таким образом, необходимо иметь дополнительно некоторое логическое устройство (ЛУ), которое при наборе определенных комбинаций двоичных переменных x, y , поступающих на вход этого устройства, формировало бы некоторую логическую функцию $z=f(x, y)$. Легко показать, что вид этой логической функции определяется видом кода.

Для кодов, оптимальных по быстродействию при равномерном законе распределения измеряемой величины, в таблице указаны диапазоны значений измеряемой величины, при которых можно производить исключение опроса некоторых разрядов, даны номера этих разрядов, а также приведены соответствующие им функции $z=f(x, y)$.

Анализ данных таблицы показывает, что с точки зрения простоты реализации неравномерного цикла кодирования в АЦИП лучшими являются коды 4221, 5211, 5311 и 6221. Эти коды обладают тем достоинством, что для них функция $z=f(x, y)$ реализуется просто, причем опрос исключается на одном и том же разряде.

Рассмотрим, каким образом можно исключить излишние опросы в УУ АЦИП. Опрашивающие устройства УУ АЦИП обычно строятся по известным схемам пространственных распределителей импульса; из них наиболее употребительными являются: пересчетная схема с дешифратором, последовательный триггерный коммутатор, феррит-диодный регистр сдвига.

УУ, использующее двоичный счетчик с дешифратором, принципиально позволяет исключить опрос некоторых разрядов, но реализовать такую возможность не всегда просто. УУ существенно усложняется, если для получения максимального быстродействия АЦИП необходимо исключать опрос двух разрядов кода. В некоторых УУ исключать опрос разрядов затруднительно или вообще невозможно. К подобного рода схемам относятся электронные и электромеханические коммута-

| Тип кода $a_1 a_2 a_3 a_4$ | $z = f(x, y)$ | Разряд, в котором не производится сравнение | Диапазон значений измеряемой величины, при котором сравнение в разряде можно не производить |
|-------------------------------|--|---|---|
| 4221 | $\bar{x}_1 + y_2$ | a_3 | 0—6 |
| 4421 | $\begin{cases} \bar{y}_1 \\ y_2 \end{cases}$ | a_2 a_3 | 0—4 0—10 |
| 5211 | $\bar{x}_2 + y_3$ | a_4 | 0—3 5—8 |
| 5221 | $\begin{cases} y_2 \\ \bar{y}_3 \end{cases}$ | a_3 a_4 | 0—2 5—7 4—5 9—10 |
| 5311 | $x_2 + y_3$ | a_4 | 0—1 3—6 8—10 |
| 5321 | $\begin{cases} \bar{y}_3 \\ \bar{y}_2 \end{cases}$ | a_4 a_3 | 2—3 7—8 3—5 8—10 |
| 6221 | $x_1 + y_2$ | a_3 | 0—2 6—10 |
| 6421 | $\begin{cases} \bar{y}_2 \\ \bar{y}_1 \end{cases}$ | a_3 a_2 | 4—6 6—10 |

Примечание. x соответствует невозбужденному состоянию ячейки, y — наличию сигнала на выходе устройства сравнения.

торы, в которых между отдельными элементами схем существуют неуправляемые связи. Используются также УУ, выполненные на основе некоторой многофазной генераторной схемы, где продвижение импульса последовательного возбуждения элементов распределителя зависит от временного параметра схемы в целом (например, многофазный мультивибратор [3]). Для схем такого типа исключение опроса некоторых разрядов невозможно без сложных переключений во многих элементах схемы.

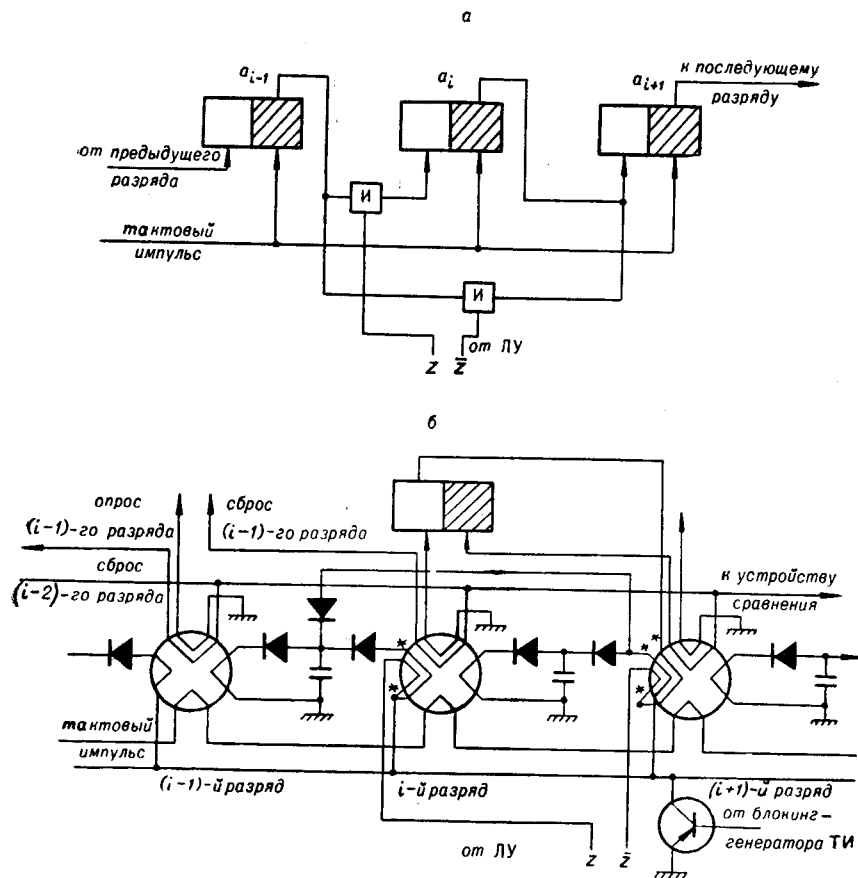


Рис. 1. Исключение опроса i -го разряда:

а — в последовательном триггерном распределителе; б — в феррит-диодном регистре сдвига.

Наиболее простыми оказываются УУ для АЦИП с неравномерным циклом кодирования, если в качестве распределителя УУ использовать схему последовательного триггерного распределителя (рис. 1, а) или однокантный феррит-диодный регистр сдвига (рис. 1, б).

На рис. 1, а приведена часть схемы последовательного триггерного распределителя (три ячейки, соответствующие опросу $(i-1)$, i , $(i+1)$ -го разрядов декады), где производится исключение опроса i -го разряда. После опроса $(i-1)$ -го разряда в зависимости от состояния выходного элемента ЛУ импульс опроса проходит через одну из схем совпадения $И_1$ или $И_2$. В первом случае опрашивается i -й разряд (опрос не исключается), во втором — $(i+1)$ -й разряд (опрос i -го разряда исключается).

Реализация распределителя, использующего феррит-диодный регистр сдвига, обладающего возможностью исключения опроса i -го разряда, показана на рис. 1, б. В данном случае роль схем совпадения И, управляющих исключением опроса, выполняют добавочные обмотки II на тороидах, включенные встречно с обмотками I, переводящими тороиды в состояние «1». Для нормальной работы распределителя при отсутствии исключения опроса i -го разряда на $(i+1)$ -й ячейке добавлена еще одна обмотка III, переводящая $(i+1)$ -й тороид в состояние «1» после опроса i -го разряда. Работа распределителя синхронизируется с помощью транзисторного ключа (T_1), управляемого блокинг-генератором тактовых импульсов ТИ. На рис. 1, а и б все другие связи, кроме объясняющих принцип исключения опроса i -го разряда, опущены.

Декада АЦИП с переменной кодовой структурой

Чтобы построить достаточно гибкую кодовую структуру, обеспечивающую максимальное быстродействие декады, выберем группу кодов (из числа рассмотренных в таблице) таким образом, чтобы для всей этой группы в целом при любом значении измеряемой величины от 0 до 9 для проведения уравнивания в декаде было достаточно не более трех сравнений. При этом предполагается большое рассеяние значений измеряемой величины вокруг ее математического ожидания, так как получить точные данные о характере закона распределения измеряемой величины обычно затруднительно. К таким кодам относятся: 4421, 6421, 4221 и 6221. С целью простоты построения декады можно ограничиться кодами 6221 и 4221. Последними двумя кодами полностью покрывается весь диапазон значений от 0 до 9 при числе сравнений, не превышающем 3. Для кода 4221 достаточно трех сравнений в диапазоне значений измеряемой величины от 0 до 6, а для 6221 — от 0 до 2 и от 6 до 10. Если вероятность того, что измеряемая величина находится в первой половине шкалы, значительно больше вероятности нахождения ее во второй половине шкалы, то в декаде должен реализоваться код 4221, в противном случае — 6221.

Здесь уместно заметить, что для выбора кода не обязательно знать статистические данные об измеряемой величине. Если известно, что измеряемая величина медленно меняется от измерения к измерению, то выбор кода можно производить исходя из результата предыдущего измерения. В таком случае, если значение измеряемой величины находится в первой половине диапазона, то необходимо выбрать код 4221, если во второй — 6221.

На рис. 2 изображена декада УУ АЦИП с переменной кодовой структурой, включающая в себя опрашивающие элементы, связанные с соответствующими кодовыми весами, связи, организующие эти элементы в структуру одного из выбранных кодов, и логическое устройство, которое формирует напряжение, управляющее этими связями.

Исключение опроса весового коэффициента $2'$ (в кодах 422'1 и 622'1) производится двумя импульсно-потенциальными схемами совпадения I_1 и I_2 , на потенциальный вход которых подаются потенциалы, соответствующие инверсным логическим функциям, формируемым в ЛУ.

Из таблицы следует, что переключаемыми логическими функциями, сигнализирующими необходимость исключения опроса разряда $a_3(2')$ для выбранных кодов являются функции $z_1 = \bar{x}_1 + y_2$ для кода 422'1 и $z_2 = x_1 + y_2$ для кода 622'1.

Логической функцией исключения опроса разряда a_3 в УУ АЦИП с переменной кодовой структурой является функция $z = y_2 + x_1 + x_1v$, где v — выходная переменная устройства выбора кода, являющаяся логической суммой функции z_1 и z_2 .

Кроме того, в отличие от исходной схемы управления здесь предусматривается возможность сброса возбужденного двухстойчивого элемента x_2 (см. рис. 2), представляющего опрашиваемый разряд a_2 , импульсом, поступающим от ячейки a_4 , следующей за обводимой, при обводе. При отсутствии обвода эта цепь блокируется потенциалом,

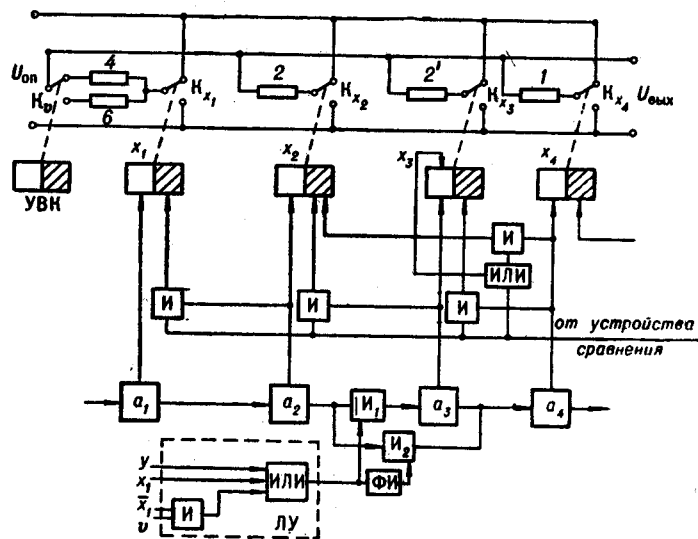


Рис. 2. Декада АЦИП с переменной кодовой структурой.

снимаемым с выхода элемента памяти обводимой ячейки. Наличие этого запрещающего потенциала свидетельствует о том, что ячейка a_3 возбуждалась на предыдущем такте распределителя и, следовательно, обвода не было.

В измерительной схеме АЦИП с переменной структурой в первом разряде включены цепи весовых токов (напряжений), соответствующие используемым весовым коэффициентам 4 и 6. Эти цепи, кроме ключа ячейки x_1 УУ, коммутируются ключом K_0 , управляемым устройством выбора кода.

Дешифратор перевода двоично-десятичного кода в десятичный в АЦИП с переменной кодовой структурой состоит из двух матричных схем, причем подключение одной из них к индикаторным устройствам должно производиться коммутирующими шинами, на которые подаются выходные потенциалы устройства выбора кода. Так как расшифровываемые комбинации выбранных кодов отличаются незначительно, то некоторые цепи дешифраторов этих кодов могут быть совмещены, а весь дешифратор в целом, таким образом, упрощен.

Выводы

С точки зрения простоты реализации АЦИП с неравномерным циклом кодирования в качестве распределителя УУ наиболее целесообразна схема, выполненная на одноконтурном феррит-диодном регистре сдви-

стройки ее кодовой структуры. Построение декады с перестраиваемой кодовой структурой хотя несколько и усложняет схему АЦИП, но значительно уменьшает среднее необходимое количество сравнений на декаду.

Построение АЦИП с неравномерным циклом кодирования особенно целесообразно в тех случаях, когда достижение заданного быстродействия АЦИП поразрядного уравнивания невозможно путем использования известных быстродействующих элементов. Принцип кодирования с неравномерным циклом позволяет повысить среднее быстродействие АЦИП на 15—25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ефименко. О выборе двоично-десятичного кода в приборах поразрядного уравнивания.— Конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, ЦБТИ, 1963.
2. К. Б. Карандеев. Измерительные информационные системы и автоматика.— Вестник АН СССР, 1961, № 10.
3. В. Н. Михайловский, Н. И. Свенсон. Электронные коммутаторы. Киев, Гостехиздат, 1961.

*Поступила в редакцию
8 февраля 1965 г.*