

Ю. Н. ЗОЛУХИН, В. И. РАБИНОВИЧ
(Новосибирск)

О РЕЖИМЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОПРОСА ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

Одним из основных режимов опроса источников информации (каналов) в многоканальных измерительных системах является режим, который условимся называть таймерным. При его реализации для каждого из N каналов, обслуживаемых системой, назначается индивидуальный период опроса (время между двумя измерениями в данном канале). В частном случае, когда период опроса одинаков для всех каналов, режим именуется циклическим. Важное достоинство таймерного (циклического) режима состоит в том, что отпадает необходимость в датировании результатов измерений и привязке к ним номеров источников информации. Тем самым сокращается длина кодового слова, соответствующая результату измерения, и, следовательно, увеличивается степень использования объема оперативной памяти, в которой эти результаты хранятся. Периодичность получения результатов измерения (для каждого из каналов) позволяет также упростить алгоритмы обработки получаемой информации. Ниже рассматриваются особенности организации таймерного и циклического режимов.

Источники информации в порядке, определяемом заданным алгоритмом, подключаются с помощью коммутатора к входу аналого-цифрового преобразователя, имеющего фиксированное время измерения t .

Результаты измерения передаются в оперативную память ЦВМ для хранения и дальнейшей обработки. Ввод информации в вычислительную машину производится в течение интервалов времени Δ , следующих друг за другом через время T ; интервалы считывания $\Delta \leq t$ (рис. 1). Для хранения данных, получаемых между интервалами считывания, во всех ка-

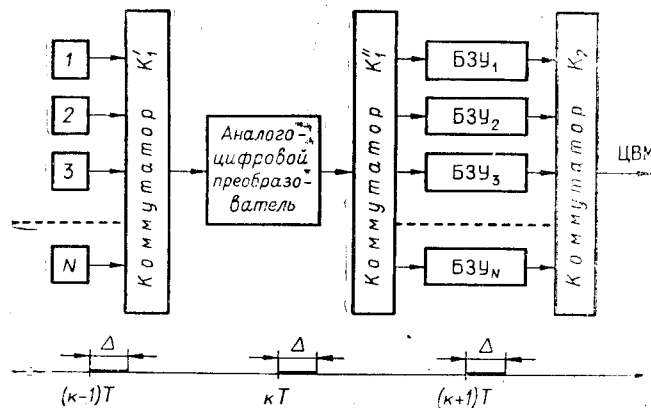


Рис. 1. Структурная схема системы сбора данных.

налах предусмотрены индивидуальные буферные запоминающие устройства емкостью в m результатов измерения. Эти запоминающие устройства коммутируются к выходу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) одновременно с подключением на его вход соответствующих источников информации. Число m определяет также количество результатов измерения, которое в течение одного интервала считывания можно из буферной памяти переслать в оперативную память ЦВМ.

Необходимость в накоплении и передаче блока из m цифровых кодов, характеризующих состояние одного канала, вызвана тем, что число двоичных разрядов цифровых кодов результата измерения меньше числа двоичных разрядов, составляющих емкость ячейки оперативной памяти. Именно, m — целая часть отношения разрядностей этих чисел. Если в ячейку оперативной памяти записывать не всю информацию одновременно, а разделить ее на «порции», то потребуются, во-первых, непроизводительное время на считывание уже занесенных в ячейку данных, и, во-вторых, дополнительное оборудование для «упаковки» извлеченных из ячейки и вновь поступивших результатов измерения. В случае же записи в одну ячейку памяти результатов измерения в различных каналах возникнут трудности при расшифровке (определении источников информации, к которым относятся хранимые в ячейке результаты измерения).

Очевидно, что при заданных значениях величин T и m время измерения должно быть ограничено сверху: $\tau \leq T/m$.

В противном случае за интервал времени T невозможно выполнить m измерений и, следовательно, таймерный режим не будет реализован. В то же время слишком малые значения τ означают необоснованно завышенные требования к быстродействию аналого-цифрового преобразователя и свидетельствуют о несогласованности его «производительности» с характеристиками линии связи между прибором и вычислительной машиной. Однако даже в условиях полного согласования ($m\tau = T$) возможны потери информации из-за неправильного выбора процедуры опроса каналов. Такая ситуация возникает, например, в условиях циклического режима при естественном (казалось бы) последовательном подключении

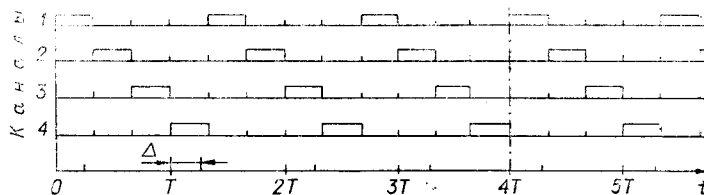


Рис. 2. Временная диаграмма процедуры опроса каналов и ввода данных в ЦВМ ($N=4$; $\Theta=4$; $m=3$; $\tau=1$).

каналов через интервалы τ . Действительно, к некоторому моменту времени происходит заполнение буферных запоминающих устройств в нескольких каналах, тогда как до поступления новых данных может быть передано в оперативную память содержание только одного буферного устройства (рис. 2).

Таким образом, возникает задача о выборе такой процедуры опроса источников информации, которая обеспечивала бы заданный период в каждом канале и не приводила бы к потере данных из-за невозможности одновременной передачи по линии связи более чем m результатов измерения в течение одного интервала считывания Δ . Очевидно, что

особенности искомой процедуры будут влиять и на структуру измерительной системы.

Остановимся сначала на организации циклического режима, различая две разновидности его задания:

1) заданы период опроса Θ (одинаковый для всех каналов), время измерения τ , интервал времени между считываниями T и число m . Требуется найти максимальное количество каналов N_{\max} , для которого возможен циклический опрос с заданным периодом;

2) фиксируются значения N , τ , T и m ; нужно определить наименьший возможный период. В дальнейшем будем полагать, что Θ/τ и T/τ — целые числа.

Для этих разновидностей задания циклического режима нужно найти процедуру опроса, гарантирующую отсутствие потерь данных, и предложить варианты схемной реализации.

Максимальное число каналов (для постановки 1) и минимальный период (для постановки 2) должны отвечать условию

$$\Theta = N\tau. \quad (1)$$

Предположим, что условие (1) выполнено, и укажем такую процедуру коммутации к АЦП источников информации и буферных устройств, которая обеспечивает передачу всех результатов измерения в оперативную память ЭВМ. Введем число d — наибольший общий делитель чисел Θ/τ и T/τ . Число d будет определять количество групп, на которое следует разбить совокупность каналов; $p = N/d$ — число каналов в каждой из d групп. Введем также обозначение $a_{i,j}$ для канала, принадлежащего i -й группе ($i = 1, 2, \dots, d$) и имеющего в этой группе порядковый номер j ($j = 1, 2, \dots, p$).

Сформулируем условия, выполнения которых достаточно для реализации циклической процедуры при $N \leq \Theta/\tau$:

1) начало первого измерения в канале $a_{i,j}$ должно быть сдвинуто на время $m\tau$ по отношению к началу первого измерения в канале $a_{i,j-1}$ ($j \neq 1$);

2) начало первого измерения в канале $a_{i,1}$ должно быть сдвинуто на время $(m+1)\tau$ по отношению к началу первого измерения в канале $a_{i-1,p}$ ($i \neq 1$);

3) начало каждого последующего измерения в любом из каналов должно быть сдвинуто на время Θ по отношению к началу предыдущего измерения.

Условие 3 очевидно. Условия 1 и 2 содержат требование о введении в каждом канале своей начальной фазы и, следовательно, свидетельствуют о наличии «переходного режима».

Докажем достаточность условий 1—3 для реализации циклической процедуры опроса.

Будем полагать при этом, что значения T и Θ заданы в единицах τ . Тогда $T = m$ и $\Theta = N$. Выберем некоторый момент времени at (рис. 3), отвечающий началу интервала считывания Δ , и для канала $a_{i,j}$ составим равенство

$$at - \varphi(i, j) - \gamma(i) = (km - 1)\Theta, \quad (2)$$

где $\varphi(i, j)$ — начальная фаза (время начала первого измерения); $\gamma(i)$ — интервал времени между моментом at и началом измерения, предшеств-

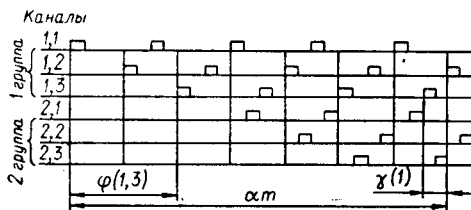


Рис. 3. Временная диаграмма процедуры опроса ($N=6$; $\Theta=6$; $T=4$; $\tau=1$).

вующего этому моменту, $0 \leq \gamma(i) \leq m$; α и k — целые натуральные числа (k , как будет показано ниже, зависит от α).

Смысл равенства (2) состоит в том, что оно требует, чтобы к моменту αt набралось ровно km результатов измерения. Задержка начала первого измерения в канале $a_{i,j}$ (в соответствии с условиями 1—3) определяется следующим образом:

$$\varphi(i, j) = (i-1)(pt+1) + (j-1)t. \quad (3)$$

Для величины $\gamma(1)$ запишем очевидное соотношение*:

$$\gamma(1) = m - (m-1)\Theta + \left[\frac{(m-1)\Theta}{m} \right] m. \quad (4)$$

Если учесть условие 2, то можно записать

$$\gamma(i) = m - (m-1)\Theta + \left[\frac{(m-1)\Theta}{m} \right] m - (i-1) \quad (4')$$

или, вводя обозначение $q = \left[\frac{(m-1)\Theta}{m} \right]$,

$$\gamma(i) = m - (m-1)\Theta + qm - i + 1.$$

Подставляя (3) и (4') в (2), получим

$$\alpha - k\Theta + \Theta - q = (i-1)p + j. \quad (5)$$

Заметим, что в правой части (5) стоит порядковый номер канала. Поэтому

$$1 \leq (i-1)p + j \leq \Theta$$

и одновременно

$$1 \leq \alpha - k\Theta + \Theta - q \leq \Theta. \quad (6)$$

Неравенство (6) можно использовать для определения k . Действительно,

$$\frac{\alpha - q}{\Theta} \leq k \leq \frac{\alpha - q}{\Theta} + \frac{\Theta - 1}{\Theta}$$

и, следовательно, k (натуральное число) определяется однозначно при фиксированных α , Θ , $q(\alpha, \Theta, m)$. Именно,

$$k = \left[\frac{\alpha - q + \Theta - 1}{\Theta} \right].$$

Но если это так, то по заданным α , Θ и m определяется тот единственный номер канала, в котором в момент αt следует производить считывание.

Таким образом, достаточность условий 1, 2 и 3 доказана. Отметим, что эти условия не являются необходимыми. При некоторых значениях Θ и m можно, например, сделать сдвиг между началами первых измерений в каналах $a_{i-1,p}$ и $a_{i,1}$ равным $(m-1)\tau$ (условие 2), а не $(m+1)\tau$. Можно также переставить каналы случайным образом или удлинить «переходный период», добавляя к рекомендуемым значениям начальных фаз величины, кратные m . Достоинства, которые вытекают из условий 1, 2 и 3, заключаются в том, что они дают, во-первых, искомую процедуру при любых значениях Θ и m и, во-вторых, простое правило для определения значений начальных фаз. Что же касается длительности «переходного режима», то она может быть получена из (3) при $i=d$ и $j=p$

$$\varphi(d, p) = (N-1)T + (d-1)\tau.$$

* В (4) и далее квадратные скобки означают операцию взятия целой части.

Никакие значения задержек, отличные от рекомендуемых условиями 1 и 2, не могут улучшить эту величину более чем на $(d-1)\tau \leq mt$. При числе каналов, меньшем максимально возможного для заданного значения Θ , исследуемая процедура опроса также обеспечивает циклический режим; однако не все интервалы считывания будут использоваться.

Следует отметить, что при циклической процедуре опроса к началу каждого интервала считывания заполняется ровно одно буферное устройство. Это обстоятельство может быть использовано для контроля за правильностью протекания процедуры. Указанная особенность процедуры позволяет отказаться от коммутатора, подключающего буферные запоминающие устройства к линии связи. Эта идея имеет простую схемную реализацию: достаточно предусмотреть запрет на считывание содержания тех буферных устройств, которые заполнены менее чем m результатами измерений.

Понятно, что зависимость значений начальной фазы от номера канала (индексов i и j) ведет к усложнению системы, так как появляется потребность в устройстве, реализующем необходимые задержки. Однако возможно и другое, по-видимому, более простое схемное решение: использовать в буферных устройствах регистры памяти специфического вида. Речь идет о так называемой «гнездовой» памяти. Последняя представляет собой набор из m регистров, количество двоичных разрядов в каждом из которых равно числу разрядов в двоичной записи результата измерения (информационного слова). Одноименные разряды регистров соединены цепями сдвига. Информационные слова могут продвигаться из регистра в регистр в направлении от входа в выходу. Информационное слово, поступившее первым, записывается в первый регистр. Поступившее вторым слово продвигает первое слово во второй регистр, а само занимает освободившийся первый регистр и т. д. Если буферное запоминающее устройство занято полностью, то при поступлении следующего слова информация, содержащаяся в m -м регистре теряется, и в него подается результат, хранившийся в регистре с номером $(m-1)$.

Гнездовая память в буферных запоминающих устройствах автоматически выполняет операции начальной задержки, так как результаты измерений, которые не должны фиксироваться в течение «переходного режима», теряются.

Обратимся теперь к таймерному режиму. Если условие $N \leq \Theta/\tau$ гарантировало возможность реализации циклического режима, то в таймерном режиме аналогичное условие формулируется не столь просто.

Пусть имеется N каналов, которые необходимо опрашивать с периодами $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$, причем периоды Θ_i не обязательно все различны.

Определим условия, которым должна удовлетворять совокупность периодов $\{\Theta_i\}$, чтобы заданный режим опроса каналов был осуществим. Разобьем ось времени, начиная с некоторого момента $t=0$, на равные промежутки длины τ и пронумеруем их. Очевидно, что числа натурального ряда, соответствующие промежуткам времени, в которые опрашивается i -й канал, составляют класс вычетов по модулю Θ_i . Поэтому необходимым и достаточным условием осуществимости таймерного режима является отсутствие решения для любой пары сравнений из системы

$$\begin{cases} x \equiv c_1 \pmod{\Theta_1}; \\ x \equiv c_2 \pmod{\Theta_2}; \\ \dots \dots \dots \\ x \equiv c_i \pmod{\Theta_i}; \\ \dots \dots \dots \\ x \equiv c_N \pmod{\Theta_N}. \end{cases} \quad (7)$$

Известно [1], что если разность $c_i - c_j$ не делится на наибольший общий делитель d совокупности $\{\theta_i\}$ без остатка для всех i и j , то любая пара сравнений из системы (7) не имеет решения.

Отметим, что приведенное условие не является конструктивным; поэтому укажем ряд как необходимых, так и достаточных условий, позволяющих сравнительно просто проверить осуществимость таймерного режима.

Легко видеть, что необходимым условием является выполнение неравенства

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{\theta_i} \leq \frac{1}{\tau} \quad (8)$$

или, считая $\tau=1$,

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{\theta_i} \leq 1. \quad (8')$$

Очевидно, что при $d=1$ режим не может быть осуществлен из-за невыполнения упомянутого условия. С другой стороны, если $d \geq N$, то требуемый режим опроса каналов всегда может быть осуществлен. Это следует из того, что натуральный ряд разбивается на d классов вычетов по $\text{mod } d$, затем каждый класс вычетов по $\text{mod } \theta_i$ образует разложение по $\text{mod } \theta_i$ одного из классов по $\text{mod } d$.

Нахождение условий осуществимости таймерного режима составляет предмет статьи [2]. В ней, однако, авторы используют дополнительное требование отсутствия перерывов в работе аналого-цифрового преобразователя, т. е. необходимое условие записывается в виде

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{\theta_i} = 1.$$

Очевидно, что это условие является частным случаем условия (8); ясно также, что оно значительно сужает класс допустимых таймерных режимов, определяемый системой сравнений (7).

Выделим случай, когда все числа θ_i имеют вид a^{k_i} , где $a = \text{const}$ и k_i — целые положительные числа. Нетрудно видеть, что при этом условие (8) является необходимым и достаточным. Особый интерес с точки зрения технической реализации представляет система чисел вида 2^{k_i} . Возможны ситуации, когда разрешается выбрать значения периодов опроса, удовлетворяющие системе неравенств $\theta_i \leq \theta_i^*$, $i = 1, \overline{N}$, где θ_i^* — максимально допустимое значение периода опроса в i -м канале. Понятно, что при этом возможности организации таймерного режима расширяются.

Рассмотрим теперь задачи, связанные с организацией накопления данных в буферных запоминающих устройствах (БЗУ) и дальнейшей передачей их в ЦВМ. Эти задачи состоят в том, чтобы для каждого из каналов найти моменты первого измерения и первого считывания, обеспечивающие отсутствие потерь информации.

Обратимся сначала к задаче об организации считывания данных из индивидуальных БЗУ. Можно показать, что в случае, когда емкость этих устройств равна m «информационным словам», порядок считывания будет повторять порядок опроса каналов. При этом, если период опроса i -го канала составляет величину θ_i , то период между считываниями данных в этом канале должен составлять $m\theta_i$. Таким образом, проце-

дура считывания может быть организована следующим образом: отмечается момент первого заполнения БЗУ в некотором k -м канале и в ближайший момент считывания производится передача данных в «память» ЦВМ; если момент (промежуток) опроса в l -м канале отстоит на s временных единиц от момента опроса k -го канала, то момент считывания в l -м канале отстоит на ms временных единиц от момента считывания в k -м канале. Для предотвращения потерь информации из-за ограниченного объема БЗУ необходимо, чтобы до момента первого считывания в БЗУ каждого канала поступило ровно по m «информационных слов».

Условимся в момент времени $t=0$ опрашивать канал с максимальным периодом; момент первого считывания L_1 для него, как нетрудно видеть, задается выражением

$$L_1 = \left(\left[\frac{(m-1)\Theta_1}{m} \right] + 1 \right) m\tau,$$

где $\Theta_1 = \max_i \{\Theta_i\}$. Моменты считывания из БЗУ L_i для других каналов, следующие за моментом L_1 , определяются из соотношения

$$L_i = L_1 + b_i m\tau,$$

где b_i — время между первыми опросами в первом и i -м каналах. Моменты считывания для каждого канала образуют класс вычетов по модулю $m\Theta_i$, а наименьший неотрицательный вычет равен остатку этого класса r_i . Значения r_i определяют моменты времени, начиная с которых результаты измерения в каждом из каналов поступают в БЗУ.

Аппаратурная реализация таймерного режима в соответствии с вышеизложенным должна предусматривать как устройства для получения заданной периодичности отсчетов в каждом из каналов, так и аппаратуру для организации «начальных фаз» отсчетов.

Рассмотрим в качестве примера организацию опроса пяти каналов, причем для двух каналов задан период 4 с, для остальных — 6 с, $m=4$, $\tau=1$ с.

Поставим в соответствие моментам опроса в каждом канале классы вычетов следующим образом:

- канал 1: $x \equiv 0 \pmod{6}$,
- » 2: $x \equiv 1 \pmod{4}$,
- » 3: $x \equiv 2 \pmod{6}$,
- » 4: $x \equiv 3 \pmod{4}$,
- » 5: $x \equiv 4 \pmod{6}$.

Таким образом, все числа натурального ряда разбиты на пять классов, и тем самым заданы моменты опроса во всех каналах. На рис. 4, а представлена возможная реализация устройства, обеспечивающего опрос каналов с заданными периодами, накопление результатов измерений в БЗУ и передачу данных в ЦВМ. Коммутатор K_1 совершает 1 шаг/с; его поля K_1' и K_1'' одинаковы. Для обеспечения необходимых периодов опроса каналы подключены в общем случае многократно к ламелям полей коммутатора. Скорость движения коммутатора K_2 в m раз меньше скорости коммутатора K_1 ; схемы коммутационных полей обоих коммутаторов одинаковы.

В исходном состоянии коммутатор K_1 находится в положении 1, подключая при этом к АЦП канал 1; коммутатор K_2 сдвинут на шесть шагов против направления движения относительно исходного положения K_1 . Коммутатор K_1 запускается на $m\tau=4$ с позже коммутатора K_2 .

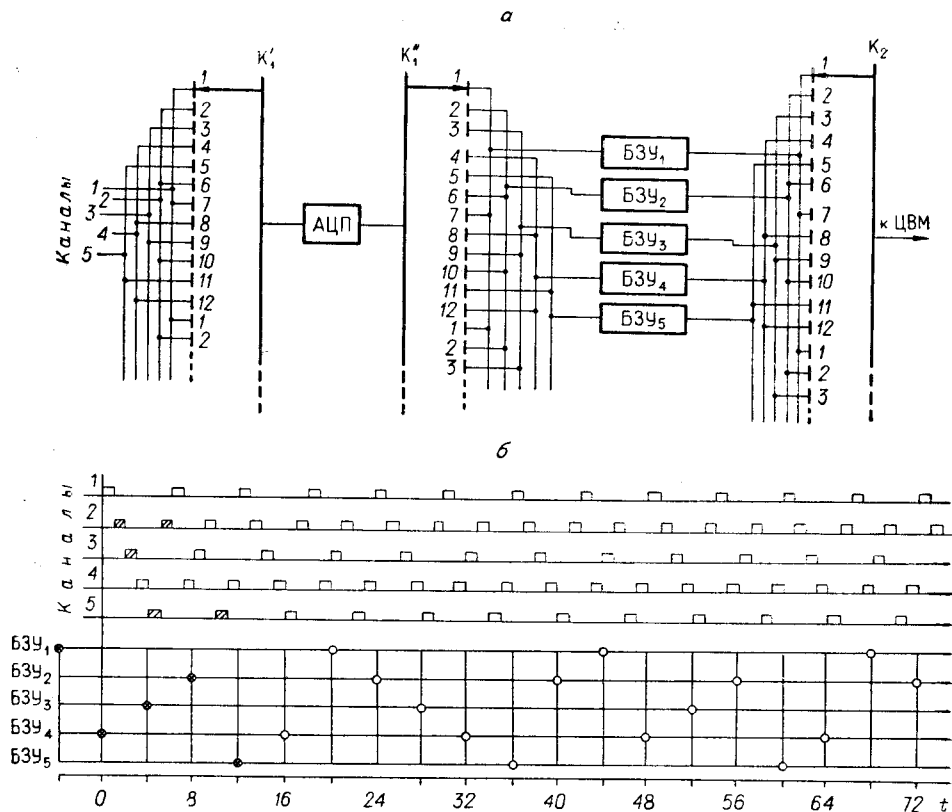


Рис. 4. Схема коммутатора (а) и временные диаграммы функционирования системы (б) ($N=5$; $\theta_2=\theta_4=4$; $\theta_1=\theta_3=\theta_5=6$; $\tau=1$).

Схема БЗУ построена таким образом, что первое подключение коммутатора K_2 к любому БЗУ открывает ключ на входе данного БЗУ, а во время всех последующих подключений происходит считывание накопленных данных.

При описанной организации процесса опроса каналов отсутствуют потери информации везде, кроме «переходного» участка. Интервалы опроса, которым соответствуют теряемые результаты измерения, заштрихованы на временной диаграмме, изображающей процедуру опроса каналов и считывания данных из буферных устройств (см. рис. 4, б).

В ряде случаев представляется целесообразным осуществление БЗУ по схеме «гнездовой» памяти; при этом автоматически обеспечивается «вхождение» в стационарный режим опроса без применения специальных устройств для фиксирования начальных фаз в каждом из каналов.

Заметим, что к решению подобных задач сводится и определение условий осуществимости периодических режимов опроса при наличии нескольких измерительных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Бухштаб. Теория чисел. М., Учпедгиз, 1960.
2. М. Б. Цодиков, Е. И. Шушков. Распределение отсчетов в многоканальных системах.— Труды ВНИИЭП, вып. 2(6). Л., 1969.

Поступила в редакцию
18 февраля 1972 г.