

4.4. Организация опроса датчиков с разными периодами опроса

Ранее было введено понятие кадра многоканальной измерительной системы, как времени, в течение которого опрашиваются все источники информации. При аппаратном формировании сигналов опроса длительность кадра определяется как произведение канального интервала на емкость счетчика распределителя импульсов, а при программном – как произведение канального интервала на число ячеек памяти, в которых записаны адреса всех каналов.

Дадим еще одно определение кадра многоканальной измерительной системы, которое не противоречит первому, а конкретизирует его для каждого конкретного случая построения многоканальной системы.

Кадр многоканальной измерительной системы - это периодически повторяющийся набор сигналов опроса заданного числа датчиков N с соответствующими периодами опроса T_j отдельных датчиков или групп датчиков.

Очевидно, что длительность кадра $T_{\text{КАДР}}$ должна быть кратна каждому периоду опроса T_j , то есть быть наименьшим общим кратным всех периодов опроса

$$T_{\text{КАДР}} = [T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_p]. \quad (4.11)$$

В примере из подраздела 4.2.1 период опроса первого датчика (Д1) равен $2T_K$, второго (Д2) – $4T_K$, двух остальных датчиков (Д3, Д4) – $8T_K$. Соответственно длительность кадра $T_{\text{КАДР}}=8T_K$, то есть является наименьшим общим кратным всех периодов опроса.

В пределах одного кадра канальные интервалы, на которых расположены сигналы опроса с периодом T_j , занимают определенные позиции. В силу временного разделения каналов сигналы опроса разных датчиков не должны занимать одни и те же позиции (см. рис. 4.3).

Введем понятие относительного периода. Относительным периодом будем называть отношение периода опроса к длительности канального интервала

$$\Theta_j = \frac{T_j}{T_K}. \quad (4.12)$$

Отношение длительности кадра к канальному интервалу назовем относительной длительностью кадра

$$\Theta = \frac{T_{\text{КАДР}}}{T_{\text{К}}}. \quad (4.13)$$

Физически относительная длительность кадра Θ определяет число канальных интервалов (временных позиций), содержащихся в кадре многоканальной измерительной системы. При программной реализации сигналов опроса Θ определяет число ячеек памяти, в которых хранятся адреса опрашиваемых каналов.

Из сопоставления (4.13), (4.12) и (4.11) следует, что относительная длительность кадра есть наименьшее общее кратное всех относительных периодов опроса:

$$\Theta = [\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_j, \dots, \Theta_p] \quad (4.14)$$

Числа Θ и Θ_j , определяющие относительные длительность кадра и периоды опроса, являются целыми числами.

4.4.1. Достижимое число разных периодов опроса

Чем больше разных периодов опроса может быть реализовано в информационно-измерительной системе, тем выше ее информационная гибкость и возможность обслуживать различные объекты исследования и контроля. С учетом введенных обозначений относительных периодов требование разнообразия возможных периодов опроса можно выполнить тем лучше, чем больше делителей будет иметь относительная длительность кадра Θ , определяемая (4.14). Любое целое число можно представить в виде канонического разложения на простые сомножители

$$\Theta = b_1^{c_1} b_2^{c_2} \dots b_j^{c_j} \dots b_q^{c_q}, \quad (4.15)$$

где b_j – попарно различные простые числа,

$c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_q$ – натуральные числа.

У попарно различных простых чисел наибольший общий делитель d равен единице

$$d = (b_j, b_k) = 1, \quad (4.16)$$

где $j \neq k \in \{1, 2, \dots, q\}$,

запись (x, y) означает наибольший общий делитель чисел x и y .

Выражение (4.15) можно трактовать как представление числа Θ системой счисления с переменным основанием b_j .

Положительное число d является делителем числа Θ , если выполняется условие

$$d = b_1^{z_1} b_2^{z_2} \cdot b_j^{z_j} \cdot b_q^{z_q}, \quad (4.17)$$

где $0 \leq z_1 \leq c_1, 0 \leq z_2 \leq c_2, \dots, 0 \leq z_j \leq c_j, \dots, 0 \leq z_q \leq c_q$.

Тот факт того, что положительное число d является делителем положительного числа Θ , обозначим как $d \mid \Theta$. Если d не является делителем Θ , то обозначение этого $d \nmid \Theta$.

Представление Θ системой кольцевых распределителей

При аппаратной реализации сигналов опроса с разными периодами повторения выражению (4.15) можно сопоставить устройство формирования сигналов опроса, выполненное на основе системы кольцевых распределителей.

Кольцевым распределителем (КР) называют устройство, осуществляющее формирование на своих выходах периодических последовательностей прямоугольных импульсов, сдвинутых один относительно другого на один тактовый интервал. Примеры КР на три и пять внутренних состояний и временные диаграммы на их выходах приведены на рис. 4.13.

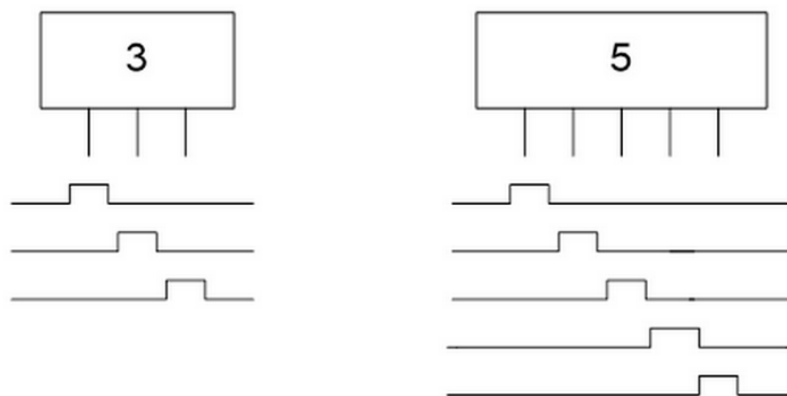


Рисунок 4.13 – Примеры кольцевых распределителей

Реализовать кольцевые распределители на число внутренних состояний от 2 до 8 можно реализовать на микросхемах K561ИЕ9 (CD4022A).

Сопоставим каждому основанию b_j кольцевой распределитель с b_j внутренними состояниями. Объединим в j -ю группу c_j кольцевых распределителей с одинаковым числом внутренних состояний b_j . Из представления (4.15) числа Θ следует, что таких групп может быть q . В этом случае число Θ с его делителями можно представить системой кольцевых распределителей, разделенных на q групп по c_j кольцевых распределителей в каждой j -й группе (рис. 4.14). Такое сопоставление позволяет более наглядно показать процесс получения максимально возможного числа различных делителей числа Θ , соответствующих разным периодам опроса.

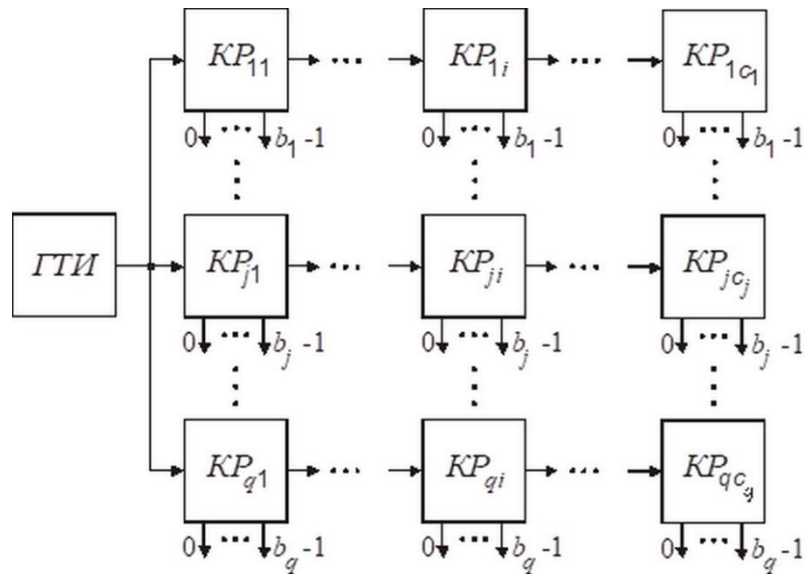


Рис. 4.14 – Система кольцевых распределителей

В представленной на рис. 4.14 системе КР включены по смешанной схеме: первые в каждой группе кольцевые распределители переключаются одновременно (т.е. параллельно) сигналами генератора тактовых импульсов (ГТИ), период следования которых равен каналному интервалу T_K . Все последующие КР в каждой группе переключаются от предыдущих в этой группе (т. е. КР в каждой группе включены последовательно).

Общее число кольцевых распределителей равно сумме кольцевых распределителей каждой группы

$$c = \sum_{j=1}^q c_j, \quad (4.18)$$

Число внутренних состояний каждого кольцевого распределителя, входящего в j -ю группу равно b_j . Соответственно число выходов, сигналы которых могут использоваться для формирования сигналов опроса, также равно b_j . Обозначим эти выходы числами $0, 1, 2, \dots, (b_j - 1)$.

Число внутренних состояний группы из c_j кольцевых распределителей определяется значением сомножителя вида $b_j^{c_j}$ в выражении (4.15):

$$N_j = b_j^{c_j}. \quad (4.19)$$

Так как значения b_j в (4.15) являются попарно взаимно простыми числами, то и числа N_j для разных групп КР, определяемые (4.19), также будут попарно взаимно простыми числами.

Общее число N внутренних состояний системы, включающей c кольцевых распределителей, определяется произведением чисел внутренних состояний всех групп:

$$N = \prod_{j=1}^q N_j. \quad (4.20)$$

Из сопоставления (4.20), (4.19) и (4.15) следует, что $N=\Theta$, то есть число внутренних состояний всей системы, состоящей из c кольцевых распределителей, равно числу позиций в относительной длительности кадра.

Изменяя число кольцевых распределителей в каждой группе и схемы их запуска, можно перейти от структуры со включением кольцевых распределителей к более простым структурам: с параллельным переключением и с последовательным переключением кольцевых распределителей.

Пусть каждая группа состоит только из одного кольцевого распределителя, то есть $c_j=1$. Тогда число групп q равно общему числу c кольцевых распределителей (рис. 4.15). В соответствии с (4.16) все числа внутренних состояний КР должны быть попарно взаимно-простыми числами. Переключение внутренних состояний всех КР происходит одновременно (параллельно) под действием сигналов с ГТИ.

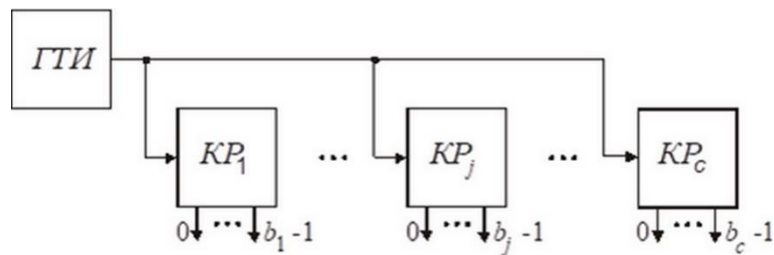


Рис. 4.15. Параллельное включение кольцевых распределителей

Пусть имеется только одна группа кольцевых распределителей, то есть $q=1$. Число кольцевых распределителей в такой группе, естественно, равно c . Переключение внутренних состояний $КР_1$ происходит под действием сигналов с ГТИ. Каждый последующий КР может переключиться в очередное внутреннее состояние только после того, как в предыдущем КР пройдет полный цикл смены внутренних состояний. Таким образом, переключение КР происходит последовательно один от другого (рис. 4.16).

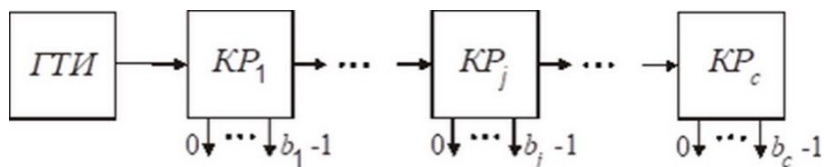


Рис. 4.16. Последовательное включение кольцевых распределителей

Число внутренних состояний КР при последовательном их включении может быть как одинаковым, так и разным.

Формирование сигналов опроса с разными периодами повторения

осуществляется с помощью логических избирательных схем **И**, на входы которых подаются сигналы с выходов разных КР во всевозможных сочетаниях. Пример формирования сигналов опроса с разными периодами повторения был рассмотрен в разделе 4.2.2 (см. рис. 4.6).

Количество различных делителей положительного числа Θ и количество соответствующих им разных периодов опроса T_j , зависит от способа формирования этих делителей, а применительно к аппаратной реализации, от способа соединения кольцевых распределителей.

Наиболее общим случаем является способ формирования делителей числа Θ , когда используются все возможные сочетания произведений сомножителей b_j в разных степенях z_j в соответствии с (4.17). Этому случаю при аппаратной реализации сигналов опроса соответствует смешанное соединение кольцевых распределителей. Запишем (4.17), представляющее делители числа Θ , еще раз:

$$d = b_1^{z_1} b_2^{z_2} \cdot b_j^{z_j} \cdot b_q^{z_q}, \text{ где } 0 \leq z_1 \leq c_1, 0 \leq z_2 \leq c_2, \dots, 0 \leq z_j \leq c_j, \dots, 0 \leq z_q \leq c_q.$$

Из (4.17) следует, что если принять $z_1=c_1$, а $z_j=0$, где $j=2,3,\dots,q$, то можно получить следующие периоды опроса: $b_1 T_K, b_1^2 T_K, \dots, b_1^{c_1} T_K$, то есть c_1 разных периодов опроса. Для системы кольцевых распределителей (рис. 4.14) это соответствует использованию для формирования разных периодов повторения только первой группы последовательно включенных кольцевых распределителей: КР₁₁... КР_{1 c_1} . При этом в качестве сигналов опроса могут использоваться сигналы непосредственно с выхода КР₁₁ или с выходов схем **И**, на входы которых подаются сигналы с выходов КР₁₁ и КР₁₂, с выходов КР₁₁ и КР₁₂ и КР₁₃ и т.д. до варианта, когда на входы схем **И** подаются сигналы с выходов всех c_1 кольцевых распределителей. Вариант такого формирования сигналов опроса с разными периодами повторения был показан на рис. 4.6.

Затем примем $z_2=c_2$, а $z_j=0$, где $j=1,3, 4,\dots,q$, и т. д. Получим c_2 различных периодов опроса. Это соответствует использованию для формирования сигналов опроса второй группы кольцевых распределителей: КР₂₁... КР_{2 c_2} .

Повторяя эту процедуру до $z_q = c_q$, получим еще c_q разных периодов опроса.

Таким образом, используя для формирования сигналов опроса поочередно все группы последовательно включенных кольцевых распределителей, можно получить

$$c_1+c_2+\dots+c_q$$

разных делителей числа Θ , а, соответственно, и разных периодов опроса.

Принимая одновременно $z_i=c_i$ и $z_k=c_k$, где $i \neq k \in \{1, 2, 3, \dots, q\}$, а остальные $z_j=0$, где $j=1, 2, 3, \dots, q, j \neq i, j \neq k$, и объединяя схемами **И** выходы КР i -й и k -й групп во всех возможных сочетаниях, получим число разных делителей числа Θ , соответственно, и разных периодов опроса, равное

$$c_1c_2+c_1c_3+\dots+c_1c_q+c_2c_3+\dots+c_2c_q+\dots+c_{q-1}c_q.$$

Используя для формирования сигналов опроса одновременно три, четыре, $\dots$, q групп КР, будем получать соответственно

$$\begin{aligned} c_1c_2c_3+\dots+c_1c_2c_q+c_2c_3c_4+\dots+c_2c_3c_q+\dots+c_{q-2}c_{q-1}c_q, \\ \dots \\ c_1c_2 \dots c_q \end{aligned}$$

различных делителей числа Θ , а значит и разных периодов опроса.

Суммируя числа разных делителей числа Θ [22], полученные для каждого из приведенных частных случаев, определим максимальное количество разных делителей числа Θ , а значит и разных периодов опроса

$$NT_{\text{СМ макс}} = \prod_{j=1}^q (c_j + 1) - 1. \quad (4.21)$$

Частному случаю $c_1=c_2=\dots=c_j=\dots=c_q=1$ соответствует параллельное включение кольцевых распределителей. Число групп q при этом равно общему числу c кольцевых распределителей. Учитывая это, из (4.21) получим

$$NT_{\text{ПАР макс}} = 2^c - 1. \quad (4.22)$$

Частный случай последовательного соединения кольцевых распределителей имеет место при $q = 1$ и $c_j = c$. Из (4.21) получим

$$NT_{\text{ПОСЛ макс}} = c. \quad (4.23)$$

Из сравнения выражений (4.21), (4.22) и (4.23) следует, что наибольшее число разных периодов опроса при заданном числе c кольцевых распределителей можно обеспечить при параллельном запуске кольцевых распределителей, а наименьшее – при последовательном запуске.

Однако, тот факт, что сигналы опроса с периодами повторения T_j и T_k , где $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{макс}}\}$, $NT_{\text{макс}}$ определяется из выражений (4.21), (4.22) или (4.23), могут быть сформированы, еще не означает, что они могут быть совместно реализованы в одной многоканальной измерительной системе. Поэтому необходимо выяснить условия совместной реализуемости разных периодов опроса и определить число разных периодов опроса, реализуемых совместно с заданным периодом опроса.

4.4.2. Условие совместной реализуемости разных

периодов опроса

Вопросы совместной реализуемости разных периодов опроса неизбежно возникают при проектировании многоканальных систем с временным уплотнением каналов. Обозначим номера канальных интервалов (номера позиций), входящих в один кадр, числами натурального ряда, включая ноль: 0, 1, 2, ..., $(\Theta-1)$ (рис. 4.17,а, $\Theta=24$).

При увеличении частоты опроса, например с помощью запараллеливания коммутируемых цепей, сигналы опроса будут занимать в кадре системы несколько позиций (рис. 4.17,в).

Тогда сигналы опроса с периодом T_j , (с относительным периодом Θ_j), где $j \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{макс}}\}$, можно представить в виде подмножества чисел, взятых из множества $\{0, 1, 2, \dots, \Theta-1\}$:

$$M_j = m_{j1} + \Theta_j x_j, \quad (4.24)$$

где $m_{j1} \in \{0, 1, 2, \dots, \Theta_j - 1\}$ – начальный член подмножества и его возможные значения (рис. 4.17,б);

$x_j = 0[1] \left(\frac{\Theta}{\Theta_j} - 1 \right)$ – переменная, последовательно принимающая ряд значений 0, 1, 2, ..., $(\Theta/\Theta_j - 1)$ с шагом, равным единице.

В примере на рис. 4.17 $\Theta_j = \Theta_1 = 6$. Подмножество M_j (M_{11}) содержит числа: 0, 6, 12, 18 (рис. 4.17,в). Переменная x_j поочередно принимает значения: 0, 1, 2, 3.

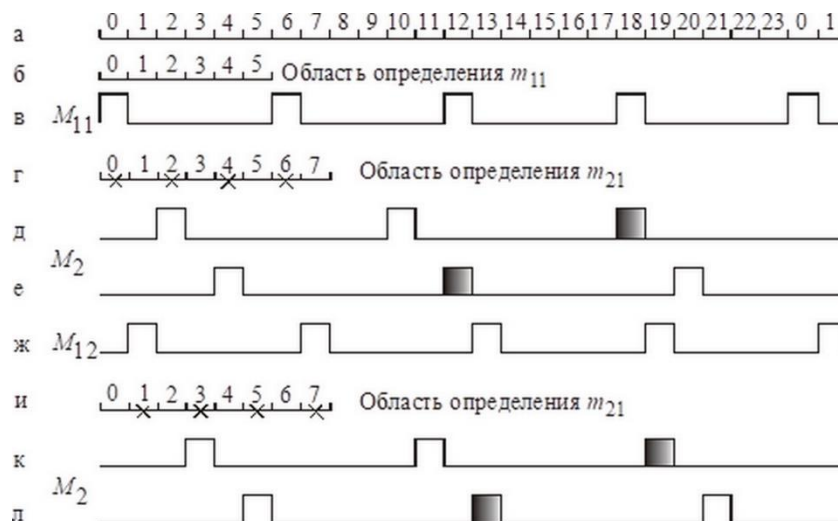


Рис.4.17. Представление сигналов опроса под множествами чисел

Пусть $n_j=2$. Реализовать два канала с периодом опроса датчиков T_j можно, формируя сигналы опроса второго канала на позициях с номерами: 1, 7, 13, 19. Этому варианту соответствует подмножество M_{12} (рис. 4.17,ж).

Посмотрим, можно ли совместно с двумя каналами с периодом опроса T_j (относительный период Θ_j) опросить хотя бы один канал с периодом опроса $T_k > T_j$. В примере на рис 4.17 периоду опроса T_k соответствуют относительный период $\Theta_k = 8$ и подмножества чисел $M_k = m_{k1} + \Theta_k x_k$.

Начальные элементы m_{k1} подмножеств M_k имеют область определения от 0 до $(\Theta_k - 1)$. В примере на рис. 4.17 это подмножества M_2 и относительный период $\Theta_k = \Theta_2 = 8$. Начальные элементы подмножества M_2 , m_{21} , могут принимать значения 0, 1, 2, ..., 7 (рис 4.17,и).

Позиции с номерами 0, 1, 6, 7 заняты сигналами опроса с относительным периодом Θ_j (Θ_1). На первый взгляд сигналы опроса с периодом Θ_k (Θ_2) можно формировать на позициях с номерами 2, 3, 4, и 5. Однако, оказывается, что в пределах кадра сигналы опроса с периодом Θ_2 пересекаются (появляются на одних и тех же позициях) с сигналами опроса с периодом Θ_1 , что недопустимо при временном разделении измерительных каналов. Факт пересечения подмножеств M_1 и M_2 показан на рис. 4.17,д,е,к,л затемнением сигналов опроса.

При разработке многоканальных ИИС такие ситуации желательно выявлять аналитически, не прибегая к построению громоздких временных диаграмм сигналов опроса с разными периодами повторения.

Для решения этих вопросов наиболее пригоден аппарат теории чисел, в частности сравнения. При анализе условий совместной реализуемости сигналов опроса с разными периодами будем использовать такие характеристики этих сигналов, которые обычно задаются при проектировании многоканальных измерительных систем: это период опроса T_j ($j \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{макс}}\}$), число датчиков n_j , опрашиваемых с периодом T_j , число групп q , внутри которых датчики опрашиваются с одинаковым периодом опроса.

Все числа подмножества (4.24) сравнимы между собой по модулю Θ_j . Числа a и b называют сравнимыми по модулю M , если разность $(b - a)$ делится на M , то есть если $M \mid (b - a)$ [23]. Для положительных чисел это эквивалентно тому, что при делении чисел a и b на M получается один и тот же остаток.

Соотношение между числами a , b , M , означающее, сравнимость чисел a и b по модулю M , записывают в виде

$$a \equiv b(M).$$

Классом по данному модулю M называют множество всех целых чисел, сравнимых с некоторым данным числом a . Таким образом, числа (4.24) принадлежат одному классу по модулю Θ_j .

При выяснении вопроса о совместной реализуемости неодинаковых

периодов опроса примем, что $\Theta_1 < \Theta_2 < \dots < \Theta_j < \dots < \Theta_k < \dots < \Theta_{NT_{\max}}$.

Числа подмножества (4.24) составляют класс $\overline{m_{j1}}$ по модулю Θ_j .

Сигналы с разными периодами опроса T_j и T_k , $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\max}\}$, совместно реализуются, если соответствующие им подмножества чисел вида (4.24) не пересекаются:

$$M_j \not\cap M_k. \quad (4.25)$$

Условие (4.25) выполняется, если числа, образующие подмножества M_j и M_k , принадлежат разным классам по соответствующему модулю.

В соответствии с (4.24) числа подмножества M_j , принадлежат по модулю Θ_j классу $\overline{m_{j1}}$. Теперь сравним эти числа между собой по другому модулю – Θ_k .

Числа подмножества M_j , принадлежащие по модулю Θ_j классу $\overline{m_{j1}}$, образуют по другому модулю Θ_k классы

$$\overline{m_{j1}}, \overline{m_{j1} + d_{jk}}, \overline{m_{j1} + 2d_{jk}}, \dots, \overline{m_{j1} + \left(\frac{\Theta_k}{d_{jk}} - 1\right)d_{jk}}, \quad (4.26)$$

где $d_{jk} = (\Theta_j, \Theta_k)$ – наибольший общий делитель чисел Θ_j и Θ_k .

Номера классов (4.26) образуют подмножество чисел

$$R_{jk} = m_{j1} + d_{jk}x_{jk}, \quad (4.27)$$

где $x_{jk} = 0[1] \left(\frac{\Theta_k}{d_{jk}} - 1 \right)$.

Числа подмножества M_k ($M_k = m_{k1} + \Theta_k x_k$) могут образовывать по модулю Θ_k классы $\overline{m_{k1}}$, номера которых определяются как

$$R_k = m_{k1}, \quad (4.28)$$

где $m_{k1} \in \{0, 1, 2, \dots, \Theta_k - 1\}$.

Если среди множества допустимых значений m_{k1} , принадлежащих подмножествам M_k , имеются такие, что $m_{k1} = r_{jk}$, где $r_{jk} \in R_{jk}$, определяемого выражением (4.27), то окажется, что в этом случае числа подмножеств M_k и M_j принадлежат одним и тем же классам по модулю Θ_k . Следовательно подмножества M_j и M_k пересекутся, и соответствующие им периоды опроса T_j и T_k не могут быть совместно реализованы.

Таким образом, классы, номера которых определяются выражением (4.27), являются запрещенными для подмножеств M_k . Соответственно на позициях с номерами (4.27) нельзя размещать сигналы опроса с периодом T_k . Позиции в кадре опроса всех датчиков, запрещаемые сигналами опроса с периодом T_j для

сигналов опроса с периодом T_k ($T_j < T_k$), обозначены на рис. 4.17 крестиками.

Из (4.27) следует, что число запрещенных классов, образуемых одним подмножеством M_j для подмножеств M_k равно

$$z_{jk} = \frac{\Theta_k}{d_{jk}}. \quad (4.29)$$

Если имеется i разных подмножеств вида (4.24) ($T_1 < \dots < T_j < \dots < T_i$), меньших, чем T_k , то число образуемых ими по модулю Θ_k запрещенных для подмножеств M_k классов равно

$$Z_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^i z_{jk}. \quad (4.30)$$

Как следует из (4.28), m_{k1} может принимать только Θ_k целых значений, поэтому условие непересечения подмножеств M_k с существующими подмножествами $M_1, \dots, M_j, \dots, M_i$, а, следовательно, условие реализуемости периода опроса T_k совместно с периодами $T_1, \dots, T_j, \dots, T_i$ имеет вид

$$\Theta_k - Z_k > 0. \quad (4.31)$$

Далее будет показано, как следует размещать сигналы опроса с периодом T_j в кадре опроса всех датчиков, чтобы обеспечить возможность реализации и сигналов опроса с периодом T_k ($T_j < T_k$).

4.4.3. Число разных периодов опроса, реализуемых совместно с заданным периодом опроса

Определим число различных периодов опроса T_k , попарно реализуемых совместно с заданным периодом T_j ($T_j < T_k$, $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\max}\}$), $NT_{\max}$ – максимально возможное число неодинаковых периодов опроса, зависящее от структуры представления делителями числа Θ (см. (4.21), (4.22), (4.23)).

Последовательное соединение кольцевых распределителей. В этом случае для любых пар периодов опроса $T_j < T_k$, где $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{ПОСЛ макс}}\}$, выполняется соотношение $d_{jk} = (\Theta_j, \Theta_k) = \Theta_j$, так как относительный период Θ_k полной смены всех внутренних состояний k -го кольцевого распределителя является наименьшим общим кратным относительных периодов всех кольцевых распределителей, включенных перед ним. Тогда, согласно (4.29),

$$z_{jk} = \frac{\Theta_k}{\Theta_j}. \text{ Условие (4.31) для случая совместной реализации двух разных}$$

периодов опроса примет вид $\frac{\Theta_k}{\Theta_j} < \Theta_k$. Из этого следует, что условие (4.31)

выполняется при любых $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{ПОСЛ макс}}\}$.

Таким образом, при формировании сигналов опроса на основе КР с последовательным запуском совместно реализуемы любые два неодинаковые периода опроса из максимально возможного числа $NT_{\text{ПОСЛ макс}}$.

Так как $NT_{\text{ПОСЛ макс}} = c$, (см. выражение (4.23)), то число различных периодов опроса, реализуемых совместно с заданным периодом T_j , равно, включая и T_j ,

$$NT_{\text{ПОСЛ р}} = c. \quad (4.32)$$

Параллельное соединение кольцевых распределителей. Пусть сигналы опроса с периодом T_j формируются с помощью j кольцевых распределителей, а сигналы опроса с другим периодом T_k – с помощью любых сочетаний остальных $(c-j)$ кольцевых распределителей. Так как числа внутренних состояний всех КР являются попарно простыми числами, то наибольший общий делитель таких чисел $d_{jk} = (\Theta_j, \Theta_k) = 1$.

В этом случае из (4.29) получим $z_{jk} = \Theta_k$. Таким образом, не выполняется условие (4.31), то есть сигналы опроса, сформированные с помощью $(c-j)$ кольцевых распределителей, не могут быть совместно реализованы с сигналами опроса, сформированными с помощью j кольцевых распределителей. Число нереализуемых периодов опроса определяется выражением, аналогичным (4.22):

$$NT_{\text{ПАР н}} = 2^{c-j} - 1. \quad (4.33)$$

Вычитая (4.33) из (4.22), получим максимально возможное число разных периодов опроса, включая и период T_j , попарно реализуемых совместно с периодом T_j ,

$$NT_{\text{ПАР р}} = 2^{c-j} (2^j - 1). \quad (4.34)$$

Смешанное включение кольцевых распределителей. Пусть сигналы опроса с периодом T_j формируются с помощью кольцевых распределителей, входящих в j групп из общего числа q групп, а сигналы опроса с другим периодом T_k – с помощью любых сочетаний кольцевых распределителей всех q групп. Среди сигналов опроса с периодом T_k имеются такие, которые сформированы с помощью кольцевых распределителей $p = (q-j)$ групп. Так как у кольцевых распределителей, входящих в разные группы, должны быть взаимно простыми число внутренних состояний, то относительные периоды сигналов опроса, сформированных таким способом, также будут взаимно простыми

числами. В этом случае получим $d_{jk}=(\Theta_j, \Theta_k)=1$. В соответствии с (4.29) $z_{jk}=\Theta_k$, что приводит к невыполнению условия (4.31). Таким образом, сигналы опроса, сформированные с помощью кольцевых распределителей $p=(q-j)$ групп, не могут быть совместно реализованы с сигналами опроса, сформированными с помощью кольцевых распределителей остальных j групп. Число таких нереализуемых периодов опроса определяется выражением, аналогичным (4.21):

$$NT_{\text{СМн}} = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^q (c_k + 1) - 1. \quad (4.35)$$

Вычитая (4.35) из (4.21), получим максимально возможное число разных периодов опроса, включая и период T_j , попарно реализуемых совместно с периодом T_j ,

$$NT_{\text{СМр}} = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^q (c_k + 1) \left[\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^q (c_j + 1) - 1 \right]. \quad (4.36)$$

Таким образом, из сравнения (4.29), (4.30) и (4.31) следует, что принципиальным условием совместной реализации сигналов опроса с периодом T_j попарно с одним из сигналов опроса с периодом T_k ($T_j < T_k$, $j \neq k \in \{1, 2, \dots, NT_{\text{макс}}\}$) является отличие от единицы наибольшего общего делителя относительных периодов Θ_j и Θ_k .

Для предельного случая, когда формируется один сигнал опроса с периодом T_j и один с периодом T_k , оценки максимально возможного числа разных периодов опроса T_k , попарно совместно реализуемых с заданным периодом опроса T_j определяются выражениями (4.32), (4.34), (4.36) для соответствующего способа формирования сигналов опроса.

В реальных многоканальных измерительных системах с периодом T_j опрашивается, как правило, не один датчик, а несколько, например n_j . С другим периодом T_k должны опрашиваться n_k датчиков и т. д. Однако могут ли быть реализованы сигналы с периодом T_k , если существуют n_j сигналов опроса с периодом T_j , и если да, то может ли их число достичь n_k ?

4.4.4 Рациональная организация структуры кадра многоканальной измерительной системы

Организацией структуры кадра многоканальной измерительной системы называют сопоставление моментам опроса каждого датчика определенных временных позиций кадра, номера которых взяты из множества $\{0, 1, 2, \dots, \Theta-1\}$.

Рациональной считается такая организация структуры кадра, при которой вместе с опросом n_j датчиков с периодом опроса T_j может быть опрошено возможно большее число датчиков с периодом опроса T_k , вместе с опросом n_j датчиков с периодом опроса T_j и n_k датчиков с периодом T_k может быть опрошено возможно большее число датчиков с периодом T_r ($T_j < T_k < T_r$) и так далее при минимальном значении относительной длительности кадра Θ . Как реализовать такую организацию структуры кадра?

Группирование подмножеств

Если в одном из каналов многоканальной измерительной системы датчик опрашивается с периодом опроса T_j , то сигналы опроса этого датчика создают в кадре опроса всех датчиков запрещенные для сигналов опроса с периодом T_k ($T_j < T_k$) позиции, на которых нельзя размещать сигналы опроса датчиков с периодом T_k . Номера этих запрещенных позиций определяются выражением (4.27), а их количество – выражением (4.29).

Если число каналов с периодом опроса T_j датчиков $n_j > 1$, то возникает вопрос, на каких позициях в кадре опроса всех датчиков следует разместить сигналы опроса с этим периодом, чтобы была еще возможность наряду с опросом n_j датчиков с периодом опроса T_j реализовать опрос какого-то числа датчиков с периодом опроса T_k ?

Если позиции с номерами (4.27) уже запрещены одним из сигналов опроса с периодом T_j , то почему бы не расположить на этих позициях другие сигналы опроса с периодом T_j . Можно предположить, что в этом случае другие сигналы опроса с периодом T_j не будут создавать дополнительных запрещенных позиций для сигналов с периодом опроса T_k ($T_j < T_k$).

Выберем начальные члены соответствующих сигналам опроса с периодом T_j подмножеств M_{ji} , $i \in \{2, 3, \dots, n_j\}$, n_j – число каналов с периодом опроса T_j , из условия

$$m_{j1}(M_{ji}) = m_{j1}(M_{j1}) + d_{jk}y_{jk}, \quad (4.37)$$

$$\text{где } y_{jk} = 0[1] \left(\frac{\Theta_j}{d_{jk}} - 1 \right),$$

$m_{j1}(M_{j1})$ – начальный член подмножества M_{j1} , наименьший из множества допустимых значений $\{0, 1, 2, \dots, (\Theta_j - 1)\}$.

Каждое из подмножеств M_{ji} образует по модулю Θ_k запрещенные классы, определяемые выражением (4.27). Учитывая, что начальные члены подмножеств

M_{ji} выбраны из условия (4.37), получим номера запрещенных классов (они же номера запрещенных позиций), создаваемых любым подмножеством M_{ji} для подмножеств M_k :

$$R_{jk}(M_{ji}) = m_{j1}(M_{j1}) + d_{jk}y_{jk} + d_{jk}x_{jk}. \quad (4.38)$$

Все числа (4.38) сравнимы по модулю d_{jk} с $m_{j1}(M_{j1})$:

$$m_{j1}(M_{j1}) + d_{jk}y_{jk} + d_{jk}x_{jk} \equiv m_{j1}(M_{j1}) \pmod{d_{jk}}. \quad (4.39)$$

В выражении (4.39) слагаемое $d_{jk}y_{jk}$ делится на модуль d_{jk} при любом значении y_{jk} . Известно [23] свойство сравнений: **сравнение не изменяется при добавлении или отбрасывании членов, делящихся на модуль.**

Таким образом, в выражении (4.39) можно исключить из сравнения член $d_{jk}y_{jk}$. В результате получим выражение (4.27). Отсюда следует, что запрещенные для подмножеств M_k классы (4.38), образуемые числами подмножеств M_{ji} , совпадают с запрещенными классами (4.27), образуемые одним подмножеством M_{j1} .

Проиллюстрируем это с помощью рассмотренного в разделе 4.2.2 примера, выбрав начальные члены подмножеств M_{ji} в соответствии с (4.37) и сравнив члены каждого подмножества M_j по модулю $\Theta_k = 8$.

$$\Theta_j=6 \quad M_{j1} = \{0 \quad 6 \quad 12 \quad 18\} \quad R_{jk} = \{0 \quad 6 \quad 4 \quad 2\},$$

$$\Theta_j=6 \quad M_{j2} = \{2 \quad 8 \quad 14 \quad 20\} \quad R_{jk} = \{2 \quad 0 \quad 6 \quad 4\},$$

$$\Theta_j=6 \quad M_{j3} = \{4 \quad 10 \quad 16 \quad 22\} \quad R_{jk} = \{4 \quad 2 \quad 0 \quad 6\}.$$

Из этого примера видно, что подмножества M_{j2} и M_{j3} создают те же самые запрещенные классы R_{jk} для подмножеств M_k , что и подмножество M_{j1} .

Подмножества M_{ji} , начальные члены которых выбраны в соответствии с (4.37), образуют группу подмножеств вида (4.24), соответствующих сигналам опроса с периодом T_j . В эту группу в соответствии с (4.37) входят $\frac{\Theta_j}{d_{jk}}$ подмножеств вида (4.24). А запрещенные для сигналов опроса с периодом T_k позиции создает только одно из них M_{j1} . Назовем это подмножество **основным запрещающим** и обозначим $n_{jk\text{осн}}$.

Таким образом, из n_j сигналов опроса с периодом T_j создают запрещенные для сигналов опроса с периодом T_k позиции в кадре опроса всех датчиков

только $n_{jk \text{ осн}}$ сигналов опроса с периодом T_j . Число основных запрещающих подмножеств M_j при общем числе n_j подмножеств M_j определяется выражением

$$n_{jk \text{ осн}} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{n_j d_{jk}}{\Theta_j} \right\rfloor + 1, & \Theta_j \text{ не делит } n_j d_{jk} \\ \frac{n_j d_{jk}}{\Theta_j}, & \Theta_j \text{ делит } n_j d_{jk} \end{cases}. \quad (4.40)$$

В соответствии с (4.29) одно подмножество M_j запрещает для подмножеств M_k число позиций в кадре, равное $z_{jk} = \frac{\Theta_k}{d_{jk}}$. Тогда $n_{jk \text{ осн}}$ подмножеств M_j запретят число позиций, равное

$$Z_{jk} = n_{jk \text{ осн}} \frac{\Theta_k}{d_{jk}}. \quad (4.41)$$

Максимально возможное число сигналов опроса с периодом T_k , которое может быть реализовано при отсутствии сигналов с другими периодами опроса, равно, в соответствии с (4.28), Θ_k . Начальные члены подмножеств M_k , соответствующих этим сигналам, могут занимать позиции с номерами $m_{k1} \in \{0, 1, 2, \dots, \Theta_k - 1\}$. Но из (4.41) следует, что Z_{jk} позиций уже членами подмножеств M_j . Таким образом, число датчиков, которые могут быть опрошены с периодом опроса T_k равно

$$n_{k \text{ доп}} = \Theta_k - Z_{jk}. \quad (4.42)$$

Обратимся к примеру, представленному на рис. 4.17. При размещении сигналов опроса с периодом T_j (относительный период $\Theta_1 = 6$) в кадре один за другим, без учета соотношения относительных периодов $\Theta_1 = 6$ и $\Theta_2 = 8$, оказалось, что уже при наличии двух каналов с периодами опроса датчиков T_j невозможно реализовать ни одного канала с периодом опроса T_k .

Объединим сигналы опроса с периодом T_j в группу в соответствии с условием (4.37). При исходных данных примера в эту группу могут войти $\Theta_j / d_{jk} = 6/2 = 3$ таких сигнала. Запрещать позиции в кадре многоканальной измерительной системы из этих трех сигналов будет только один, т.е. $n_{jk \text{ осн}} = 1$.

В соответствии с (4.41) для сигналов с периодом T_k будут запрещены $1 \frac{8}{2} = 4$ позиций. А в соответствии с (4.42) число реализуемых сигналов опроса с

периодом T_k будет равно $8-4=4$. Реализация такой организации структуры кадра многоканальной измерительной системы иллюстрируется рис. 4.18.

Начальные члены подмножеств M_{1i} , соответствующих сигналам опроса с относительным периодом $\Theta_1 = 6$, расположены на позициях, выбранных в соответствии с (4.37) (рис. 4.18, в, г, д). При этом все они запрещают для сигналов с относительным периодом $\Theta_2 = 8$ одни и те же позиции (отмечены крестиками на рис. 4.18, е). В соответствии с (4.41) число запрещенных позиций $Z_{jk}=4$. Из (4.42) определим число датчиков, которые можно опросить с периодом опроса T_k , если уже три датчика опрашиваются с периодом опроса T_j : $n_k = \Theta_k - Z_{jk} = 8 - 4 = 4$. Сигналы опроса с периодом повторения T_k показаны на рис. 4.18, ж, и, к, л.

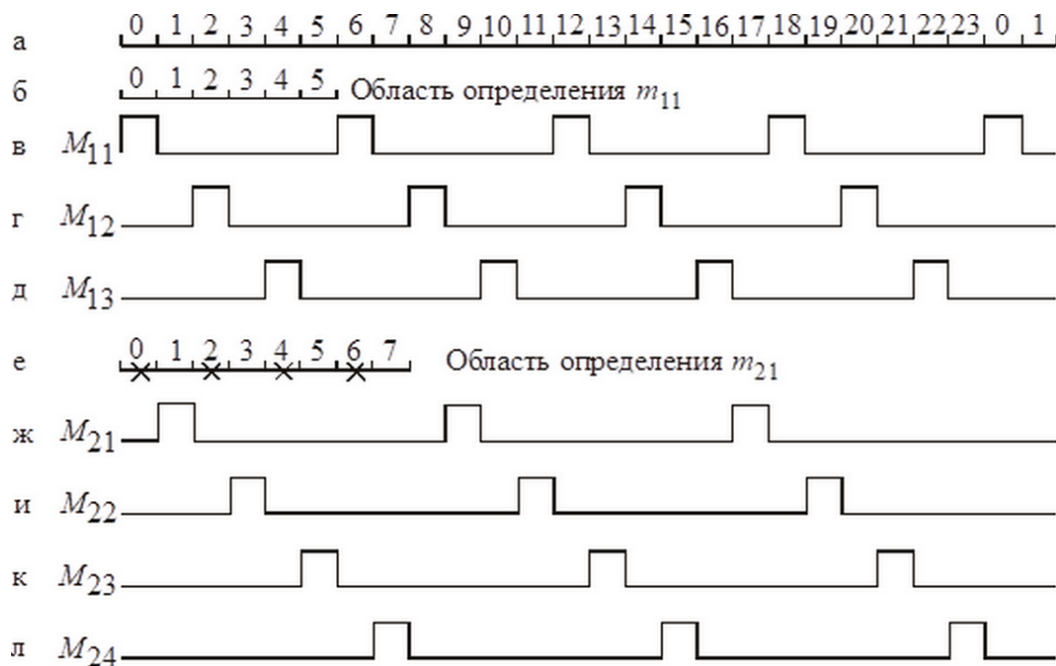


Рис. 4.18. Рациональная организация структуры кадра

Контрольные вопросы

1. Что такое информационное обслуживание объекта контроля и каковы его задачи?
2. Опишите режимы информационного обслуживания и сравните их с точки зрения согласования информационной производительности датчиков с пропускной способностью группового тракта многоканальной ИИС.
3. Опишите способы формирования сигналов опроса датчиков с разными периодами опроса.
4. Поясните принцип и особенности многоступенчатой коммутации измерительных цепей.

5. Поясните, что такое относительный период опроса, относительная длительность кадра?

6. Поясните принцип определения максимально возможного числа разных периодов сигналов опроса датчиков.

7. Опишите условия, при которых в одной ИИС можно реализовать сигналы опроса с разными периодами опроса.

8. Приведите математическое описание сигналов опроса, используя понятия относительного периода опроса и относительной длительности кадра.

9. Поясните принцип рациональной организации структуры кадра многоканальной ИИС.