

И. Я. КОРЧАГИН, Б. Г. МАТИЕНКО

(Новосибирск)

**ОПИСАНИЕ И СИНТЕЗ СТРУКТУР
ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ**

Тенденцией развития автоматических цифровых измерительных приборов (АЦИП) и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) является усложнение алгоритмов их функционирования. В частности, эта тенденция проявляется в разработке АЦИП для измерения взаимосвязанных величин и АЦИП с переменной структурой [1], многоканальных систем и АЦП с многими устройствами сравнения [2]*. Все чаще в измерительной практике рассматриваются вопросы создания приборов с арифметической и логической обработкой.

Микроэлектронная техника является той технической основой, которая позволяет реализовать такие относительно сложные устройства, поскольку при ее использовании можно создать высоконадежные, малогабаритные и дешевые (в перспективе) приборы. Более того, микроэлектронная техника позволяет усилить роль структурной избыточности и в связи с этим приводит к возможности рассмотрения новых алгоритмов функционирования, позволяющих повысить универсальность устройств, их помехоустойчивость, разрешающую способность, быстродействие и т. д.

Основные усилия разработчиков приборов направлены сейчас на улучшение качества ЦИУ физическим путем, а проектирование основано на опыте и интуиции. Очевидно, что внедрение микроэлектроники и усложнение алгоритмов функционирования настоятельно требуют разработки математических методов синтеза ЦИУ, удобных для машинной реализации. Наличие таких методов позволило бы эффективно решать задачи по оценке сложности ЦИУ, минимизации их структур и, наконец, привело бы к ускорению процесса проектирования новых средств измерения.

Разработка методов синтеза ЦИУ сдерживается, в частности, отсутствием стандартного языка, принятого для описания алгоритмов измерения и обработки. Предложенные ранее описания [3—5] используют язык операторных схем (логических схем алгоритмов). На основе такого представления алгоритмов до сих пор не удалось приблизиться к решению задач структурного синтеза, хотя принципиальная возможность этого показана [6].

* В дальнейшем для удобства вместо совместного употребления слов АЦИП (АЦП) будем пользоваться термином цифровые измерительные устройства (ЦИУ).

В данной работе для описания и структурного синтеза ЦИУ впервые привлечены методы теории конечных автоматов. Для этого требуется: 1) рассмотреть модель исследуемого класса приборов и установить применимость конечных автоматов для описания функционирования ЦИУ; 2) выбрать стандартную форму описания ЦИУ, дающую

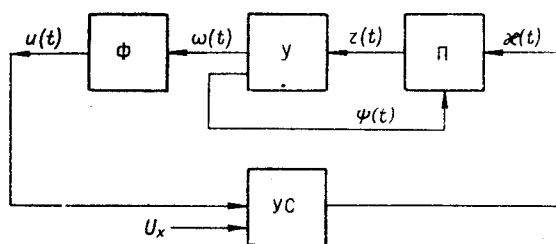


Рис. 1. Модель ЦИУ.

однозначное представление об алгоритме измерения; 3) провести структурный синтез, приводящий к схемам реальных технических устройств.

Ниже исследуются ЦИУ одновременного сравнения, которые можно представить эквивалентной блок-схемой, изображенной на рис. 1.

ОСНОВНАЯ МОДЕЛЬ

Опишем блоки модели. Ф — блок формирования образцовой величины (БФОВ). У — устройство управления измерением, в которое включаются триггерные регистры и относящиеся к ним логические схемы. П — программное устройство, анализирующее в общем случае состояния блоков У и УС (устройство сравнения) и управляющее блоком У. В частном случае для циклических АЦИП, у которых обратная связь между блоками У и П отсутствует, блок П превращается в обычный распределитель синхропотенциалов. Рассмотрим, какие блоки модели можно описать конечными автоматами.

Устройство сравнения нельзя представить конечным автоматом, поскольку на один из его входов подается аналоговая величина, имеющая бесконечное множество значений. Устройство сравнения включает в себя пороговое устройство, которое можно описать логически как

$$\text{sign} [U_x - U_k] = \begin{cases} x_1, & \text{если } U_x > U_k; \\ x_2, & \text{если } U_x < U_k; \\ x_3, & \text{если } U_x = U_k, \end{cases} \quad (1a)$$

или

$$\text{sign} [U_x - U_k] = \begin{cases} x_1, & \text{если } U_x \geq U_k; \\ x_2, & \text{если } U_x < U_k. \end{cases} \quad (1б)$$

Предполагается, что равенства U_x и U_k в соотношениях (1a) и (1б) выполняются с точностью лучшей, чем один шаг квантования по уровню Δ .

Остальная часть ЦИУ (блоки Ф, У, П) может рассматриваться как конечная динамическая система [7], поскольку работа прибора происходит в дискретном времени $t=0, 1, 2, \dots$, а число входных, выходных координат и внутренних состояний этих блоков конечно.

В самом деле, множество различных значений образцовой величины U_k конечно и может быть перечислено, как $U = \{U_0, \dots, U_n, \dots, U_{N-1}\}$, где N — число квантов шкалы. Блок Φ является одноканальной схемой, на вход которой поступают сигналы из множества $\Omega = \{\omega_0, \dots, \omega_n, \dots, \omega_{N-1}\}$ (множество кодированных значений шкалы), вырабатываемые блоком Y . Каждое $\omega_n \in \Omega$ ввиду детерминированности процесса измерения может быть поставлено в однозначное соответствие некоторому внутреннему состоянию a_n блока Y . Поэтому множество внутренних состояний последнего можно перечислить, как $A = \{a_0, \dots, a_n, \dots, a_{N-1}\}$.

Сигналы ω_n являются обычно для АЦП выходными. В АЦИП, помимо сигналов ω_n , поступающих на вход блока Φ (БФОВ), в устройстве управления вырабатывается конечное множество сигналов $\tilde{\psi} = \{\tilde{\psi}_0, \dots, \tilde{\psi}_n, \dots, \tilde{\psi}_{N-1}\}$, являющихся входными для системы индикации. Подмножество этих сигналов $\psi = \{\psi_0, \dots, \psi_g\}$ ($g \leq N-1$) поступает на входы блока Π . Следовательно, множеством, перечисляющим все входные сигналы последнего, является теоретико-множественная сумма $E = \psi \cup K$, где $K = \{x_1, \dots, x_l\}$ — множество выходных сигналов блока УС. Множество внутренних состояний блока Π и соответствующее множество выходных сигналов этого устройства можно перечислить, как $B = \{b_0, \dots, b_h\}$, $Z = \{z_0, z_1, \dots, z_h\}$. Конечность множеств B и Z следует из назначения блока Π . Последнее состоит в том, чтобы во времени $t=0, 1, 2, \dots$ выработать конечную последовательность управляющих сигналов, под воздействием которых все множество внутренних состояний A блока Y разбивается на h частично упорядоченных подмножеств, в каждом из которых задано некоторое отображение в себя. Число таких подмножеств для A конечно.

Таким образом, функционирование всей системы, составленной из блоков Φ , Y , Π , задано на конечных алфавитах и в совокупности представляет конечную динамическую систему.

Динамика работы этой системы во времени $t=0, 1, \dots$ состоит в том, что под воздействием сигналов $x_l \in K$ в блоках Y и Π происходит смена состояний (переходы), в которых вырабатываются некоторые выходные сигналы в алфавитах Ω , ψ , Z . Будем предполагать, что смена состояний в блоках Y и Π происходит детерминированно для любой входной последовательности сигналов. При таком ограничении блоки Y и Π в отдельности и в совокупности можно представить конечными автоматами.

Важность последнего ограничения в том, что не всякая конечная динамическая система является конечным автоматом [7]. Здесь исключаются случайные переходы, которые могут возникнуть в блоках Y и Π , например, по причине сбоев. Если допустить наличие сбоев, то пришлось бы описывать функционирование упомянутых выше блоков с помощью стохастических конечных автоматов.

Заметим, что использование той или иной модели конечного автомата для целей описания и синтеза, естественно, зависит от степени ее соответствия процессам, происходящим в реальных ЦИУ. Ниже для описания динамики работы ЦИУ, в которых используются элементы памяти с импульсным входом и потенциальным выходом, применяется модель автомата Мура. Модели Мура — Мили применяются в тех случаях, когда у элементов памяти наряду с потенциальными могут быть использованы и импульсные выходы [8].

Предполагается, что исходное описание алгоритма работы ЦИУ может быть любым: словесное предписание, временная диаграмма, опера-

торная схема и т. д. Этому описанию в работе придается стандартная форма, в качестве которой принято задание функций переходов и выходов абстрактных автоматов. Упомянутые функции задаются таблично или (для наглядности) с помощью диаграмм переходов [8]. Следует отметить, что диаграммы переходов уже использовались ранее при оценке помехоустойчивости АЦП [9].

Ниже представлены функции переходов и выходов блоков У и П при описании их автоматами Мура. Так, функция переходов блока У имеет следующий вид:

$$a(t+1) = f_1[a(t); z(t), \kappa(t)], \quad (2a)$$

т. е. состояние блока У в момент времени $t+1$ является некоторой функцией от его состояния в момент времени t и входных сигналов в этот же момент времени. Аналогично для блока П

$$b(t+1) = f_2[b(t); \psi(t), \kappa(t)]. \quad (3a)$$

Выходные сигналы блоков У и П задаются соответствующими функциями выходов:

$$\omega(t) = \varphi_1[a(t)]; \quad (4)$$

$$\tilde{\psi}(t) = \varphi_2[a(t)]; \quad (5)$$

$$\psi(t) = \varphi_3[a(t)]; \quad (6)$$

$$z(t) = \varphi_4[b(t)]. \quad (7)$$

Формулы (2а), (3а) с учетом входных преобразователей, реализующих соответственно функции φ_5 , φ_6 :

$$x(t) = \varphi_5[z(t), \kappa(t)]; \quad (8)$$

$$\psi_n(t) = \varphi_6[\psi(t), \kappa(t)], \quad (9)$$

можно окончательно записать в следующем виде:

$$a(t+1) = f_1'[a(t), x(t)]; \quad (2б)$$

$$b(t+1) = f_2'[b(t), \psi_n(t)]. \quad (3б)$$

Однозначность отображений φ_5 , φ_6 на практике всегда может быть обеспечена, если число символов x и ψ_n выбрать соответственно из условий:

$$\pi = lh; \quad (10)$$

$$\nu = gl. \quad (11)$$

Выходной преобразователь блока У — Φ однозначно и мгновенно ставит в соответствие каждому элементу из Ω определенный элемент из U с тем же номером η , т. е.

$$U_k(t) = \varphi_7[\omega(t)]. \quad (12)$$

Таким образом, совместно работающие блоки У и Φ также являются

некоторым конечным автоматом. Блок П является конечным автоматом, и вся рассмотренная выше система, включающая блоки Ф, У, П, является конечным автоматом*.

АЦИКЛИЧЕСКИЕ ПОРАЗРЯДНЫЕ АЦИП

Важным классом приборов являются ациклические АЦИП [10]. Основное их преимущество перед циклическими состоит в повышенном быстродействии за счет неравномерности цикла кодирования, который может окончиться на любом такте сразу после выработки в УС сигнала z_3 [см. (16)]. Триггерные регистры таких АЦИП работают в одина-

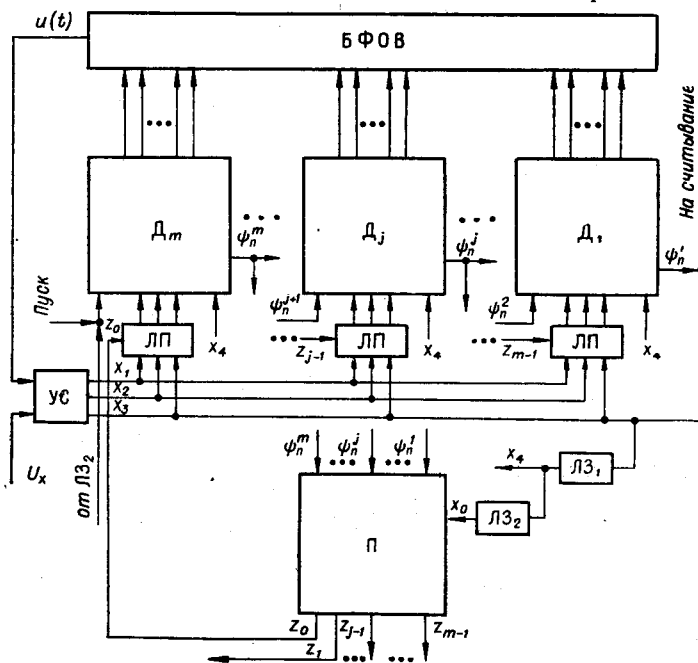


Рис. 2. Блок-схема ЦИУ одновременного сравнения: $D_1, \dots, D_j, \dots, D_m$ — декады блока У; ЛП $_j$ — входной преобразователь декады D_j ; ЛЗ $_1$, ЛЗ $_2$ — линии задержки; БФОВ — блок формирования образцовой величины; тактовый генератор и выходные сигналы ЦИУ в блок-схеме не отражены.

ковых или различных двоично-десятичных взвешенных кодах, которые к тому же могут меняться в процессе работ. Для простоты будем в дальнейшем считать, что все триггерные регистры используют один и тот же взвешенный код и что число регистров $m=3$. Триггерный регистр вместе с относящимися к нему дешифратором состояний и логическими схемами назовем декадой блока У (см. D_1, \dots, D_m на рис. 2). Будем также считать, что выходные сигналы троичного УС с помощью специальной логической схемы преобразуются в три двоичных сигнала x_1, x_2, x_3 , каждый из которых поступает по своей шине. Сигналом x_0

* Следует заметить, что конечными автоматами могут быть представлены все, кроме УС, блоки ЦИУ с обработкой результатов измерений, многоканальные, с многими УС, с анализаторами измеряемой величины (кроме анализаторов измеряемой величины), результатов измерений и обработки, а также ЦИУ, представляющие комбинации приведенных в данной работе.

будем обозначать «пуск» декады D_m , сигналом x_4 — «сброс» всех декад в начальное состояние. Выработку сигналов x_0, x_4 будем осуществлять путем временной задержки сигналов x_3 (см. рис. 2).

Выше уже упоминалось, что в качестве стандартной формы задания абстрактного автомата удобно пользоваться диаграммой его переходов. Рассмотрим, например, диаграмму переходов автоматов Мура (2), с помощью которой можно описать алгоритм работы старшей декады блока У, использующей двоично-десятичный взвешенный код 7421.

Обозначим через a_j^i состояние декады D_j , при котором в блоке Ф (БФОВ) вырабатывается ij -е значение образцовой величины, равное $i \cdot 10^{j-1} \Delta$ ($i = 0, 1, \dots, 9$; $j = 1, \dots, m$). Пусть, например, $U_x = 300 \Delta$. По сигналу x_0 декада из начального состояния a_0^m перейдет в состояние a_k^m , где k равно старшей цифре взвешенного кода (в нашем случае $k=7$). Тогда на первом такте уравнивания на выходе УС возникает сигнал x_2 (рис. 3) и декада из состояния a_7^m перейдет в состояние a_4^m ($a_7^m \rightarrow a_4^m$). При этом по выходному сигналу ω_4^m на выходе БФОВ вырабатывается $U_k = 400 \Delta$. На следующем такте по сигналу x_{2m} произойдет переход $a_4^m \rightarrow a_2^m$, а затем по сигналу x_{1m} на третьем такте $a_2^m \rightarrow a_3^m$. В состоянии декады a_3^m УС выработает сигнал x_3 и процесс уравнивания заканчивается. Через интервал времени τ_1 на выходе линии задержки ЛЗ₁ возникает сигнал x_4 и декада вновь вернется в состояние a_0^m . Через время $\tau_2 > \tau_1$ на выходе ЛЗ₂ возникает очередной сигнал пуска x_0 и описанный выше процесс уравнивания повторится.

Особо следует остановиться на переходах, отмеченных на рис. 3 штриховыми стрелками. Любой из таких переходов (по сигналу x_{1m} или x_{2m}) возникает в том случае, если значение U_x заключено между теми значениями U_k , которые вырабатываются в состояниях a_i^m и a_{i+1}^m . Например, при $300 \Delta < U_x < 400 \Delta$ процесс уравнивания также заканчивается в a_3^m . По сигналу x_{1m} (штриховые линии) на входе бло-

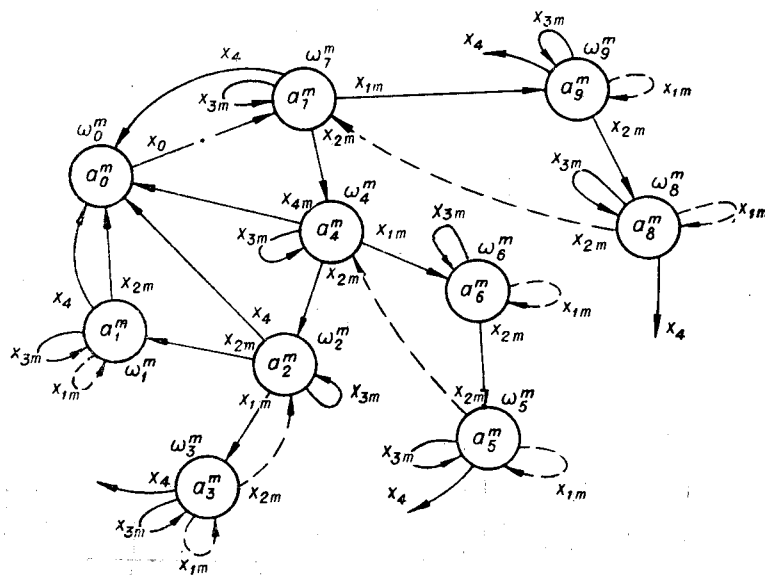


Рис. 3. Диаграмма переходов ациклического поразрядного уравнивания (код 7421).

ка П будет выработан сигнал ψ_{Π}^m , который вызовет в D_{m-1} переход $a_0^{m-1} \rightarrow a_7^{m-1}$ и произведет смену состояния в блоке П. Следует отметить, что пуск следующей декады сигналом ψ_{Π}^{j+1} (переход $a_0^j \rightarrow a_7^j$), переход по любой из штриховых стрелок в декаде D_{j+1} , а также переход в блоке П в новое состояние происходят в пределах одного такта.

Ниже приводится таблица переходов автомата Мура (отмеченная таблица), заполненная в соответствии с диаграммой переходов, изображенной на рис. 3.

Таблица 1

Выходной сигнал	ω_0^m	ω_1^m	ω_2^m	ω_3^m	ω_4^m	ω_5^m	ω_6^m	ω_7^m	ω_8^m	ω_9^m
Состояние	a_0^m	a_1^m	a_2^m	a_3^m	a_4^m	a_5^m	a_6^m	a_7^m	a_8^m	a_9^m
Входной сигнал										
(Пуск) $x_0(\psi_{\Pi}^j)$	a_7^m	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$x_{1m} = x_1 \wedge z_0$	—	a_1^m	a_3^m	a_3^m	a_6^m	a_5^m	a_6^m	a_9^m	a_8^m	a_9^m
$x_{2m} = x_2 \wedge z_0$	—	a_0^m	a_1^m	a_2^m	a_2^m	a_4^m	a_5^m	a_4^m	a_7^m	a_8^m
$x_{3m} = x_3 \wedge z_0$	a_0^m	a_1^m	a_2^m	a_3^m	a_4^m	a_5^m	a_6^m	a_7^m	a_8^m	a_9^m
(Сброс) x_4	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m	a_0^m

Структурный синтез проводится по кодированным таблицам переходов, составляемым на основе отмеченных таблиц переходов абстрактного автомата.

В кодированной таблице (см., например, столбцы 2—5, 7—10 табл. 2) каждое состояние a_i^j отмеченной таблицы (см. табл. 1) кодируется наборами внутренних состояний элементов памяти (элементарных автоматов) $\mathcal{E}A_1, \dots, \mathcal{E}A_p, \dots, \mathcal{E}A_{p_0}$. Так как число различных

Таблица 2

	Сигн. УС	$Q_1(t)$	$Q_2(t)$	$Q_3(t)$	$Q_4(t)$	Сигн. ДЩ	$Q_1(t+1)$	$Q_2(t+1)$	$Q_3(t+1)$	$Q_4(t+1)$	$\mathcal{E}A_1$			$\mathcal{E}A_2$			$\mathcal{E}A_3$			$\mathcal{E}A_4$			
											q_{s1}	q_{s0}	q_{s1}	q_{s2}	q_{s0}	q_{s1}	q_{s2}	q_{s0}	q_{s1}	q_{s2}	q_{s0}	q_{s1}	q_{s2}
1	x_{1m}	0	0	0	0	ψ_0	0	0	0	0	0	b_1	0	0	b_1	0	0	b_1	0	0	b_1	0	
2	x_{1m}	0	0	0	1	ψ_1	0	0	0	1	0	b_2	0	0	b_2	0	0	b_2	0	0	0	0	b_2
3	x_{1m}	0	0	1	0	ψ_2	0	0	1	1	0	b_3	0	0	b_3	0	0	0	b_3	b_3	0	0	\bar{b}_3
4	x_{1m}	0	0	1	1	ψ_3	0	0	1	1	0	b_4	0	0	b_4	0	0	0	b_4	0	0	0	b_4
5	x_{1m}	0	1	0	0	ψ_4	0	1	1	0	0	b_5	0	0	0	b_5	b_5	0	\bar{b}_5	0	0	0	b_5
6	x_{1m}	0	1	0	1	ψ_5	0	1	0	1	0	b_6	0	0	0	b_6	0	b_6	0	0	0	0	b_6
7	x_{1m}	0	1	1	0	ψ_6	0	1	1	0	0	b_7	0	0	0	b_7	0	0	b_7	0	0	0	b_7

	Сигн. УС	Сигн. ДШ				ЭА ₁			ЭА ₂			ЭА ₃			ЭА ₄								
		Q ₁ (t)	Q ₂ (t)	Q ₃ (t)	Q ₄ (t)	Q ₁ (t+1)	Q ₂ (t+1)	Q ₃ (t+1)	Q ₄ (t+1)	q _{S1}	q ₀	q ₁	q _{S2}	q ₀	q ₁	q _{S3}	q ₀	q ₁	q _{S4}	q ₀	q ₁		
8	x _{1m}	1	0	0	0	ψ ₇	1	0	1	0	0	0	b ₈	0	b ₈	0	b ₈	0	b ₈	0	b ₈	0	
9	x _{1m}	1	0	0	1	ψ ₈	1	0	0	1	0	0	b ₉	0	b ₉	0	0	b ₉	0	0	0	b ₉	
10	x _{1m}	1	0	1	0	ψ ₉	1	0	1	0	0	0	b ₁₀	0	b ₁₀	0	0	0	b ₁₀	0	b ₁₀	0	
11	x _{2m}	0	0	0	0	ψ ₀	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12	x _{2m}	0	0	0	1	ψ ₁	0	0	0	0	0	0	b ₁₁	0	0	b ₁₁	0	0	b ₁₁	0	b ₁₁	b ₁₁	
13	x _{2m}	0	0	1	0	ψ ₂	0	0	0	1	0	0	b ₁₂	0	0	b ₁₂	0	b ₁₂	b ₁₂	0	b ₁₂	0	
14	x _{2m}	0	0	1	1	ψ ₃	0	0	1	0	0	0	b ₁₃	0	0	b ₁₃	0	0	0	b ₁₃	b ₁₃	b ₁₃	
15	x _{2m}	0	1	0	0	ψ ₄	0	0	1	0	0	0	b ₁₄	0	b ₁₄	b ₁₄	0	b ₁₄	0	b ₁₄	0	0	
16	x _{2m}	0	1	0	1	ψ ₅	0	1	0	0	0	0	b ₁₅	0	0	0	b ₁₅	0	b ₁₅	0	b ₁₅	b ₁₅	
17	x _{2m}	0	1	1	0	ψ ₆	0	1	0	1	0	0	b ₁₆	0	0	0	b ₁₆	b ₁₆	b ₁₆	0	b ₁₆	0	
18	x _{2m}	1	0	0	0	ψ ₇	0	1	0	0	0	0	b ₁₇	b ₁₇	0	0	b ₁₇	0	b ₁₇	0	0	b ₁₇	
19	x _{2m}	1	0	0	1	ψ ₈	1	0	0	0	0	0	b ₁₈	0	b ₁₈	0	0	b ₁₈	0	b ₁₈	0	b ₁₈	
20	x _{2m}	1	0	1	0	ψ ₉	1	0	0	1	0	0	b ₁₉	0	b ₁₉	0	b ₁₉	b ₁₉	0	b ₁₉	0	b ₁₉	
21	x _{3m}	0	0	0	0	ψ ₀	0	0	0	0	0	0	b ₂₀	0	0	b ₂₀	0	0	b ₂₀	0	0	b ₂₀	
22	x _{3m}	0	0	0	1	ψ ₁	0	0	0	1	0	0	b ₂₁	0	0	b ₂₁	0	0	b ₂₁	0	0	0	
23	x _{3m}	0	0	1	0	ψ ₂	0	0	1	0	0	0	b ₂₂	0	0	b ₂₂	0	0	0	b ₂₂	0	b ₂₂	
24	x _{3m}	0	0	1	1	ψ ₃	0	0	1	1	0	0	b ₂₃	0	0	0	b ₂₃	0	0	0	b ₂₃	0	
25	x _{3m}	0	1	0	0	ψ ₄	0	1	0	0	0	0	b ₂₄	0	0	0	b ₂₄	0	b ₂₄	0	0	b ₂₄	
26	x _{3m}	0	1	0	1	ψ ₅	0	1	0	1	0	0	b ₂₅	0	0	0	b ₂₅	0	b ₂₅	0	0	b ₂₅	
27	x _{3m}	0	1	1	0	ψ ₆	0	1	1	0	0	0	b ₂₆	0	0	0	b ₂₆	0	0	b ₂₆	0	b ₂₆	
28	x _{3m}	1	0	0	0	ψ ₇	1	0	0	0	0	0	b ₂₇	0	b ₂₇	0	0	b ₂₇	0	0	b ₂₇	0	
29	x _{3m}	1	0	0	1	ψ ₈	1	0	0	1	0	0	b ₂₈	0	b ₂₈	0	0	b ₂₈	0	0	0	b ₂₈	
30	x _{3m}	1	0	1	0	ψ ₉	1	0	1	0	0	0	b ₂₉	0	b ₂₉	0	0	0	b ₂₉	0	b ₂₉	0	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

состояний в каждой декаде равно 10, то необходимое число двоичных элементов памяти $\rho_0=4$ для каждой из m декад. Вариант кодирования внутренних состояний a_i^j ($i = 0, 1, \dots, 9$) задается используемым в приборе двоично-десятичным взвешенным кодом и формой его представления. Так, в примере для поразрядного уравновешивания

вания в двоично-десятичном коде 7421 состояния a_i^j кодируются следующими наборами состояний ЭА*:

Таблица 3

a_0^j	0	0	0	0	a_2^j	0	0	1	0	a_4^j	0	1	0	0	a_6^j	0	1	1	0	a_8^j	1	0	0	1
a_1^j	0	0	0	1	a_3^j	0	0	1	1	a_5^j	0	1	0	1	a_7^j	1	0	0	0	a_9^j	1	0	1	0

Функции возбуждения каждого из ρ_0 ЭА, обеспечивающие реализацию переходов отмеченной таблицы (см. табл. 1) путем смены их внутренних состояний, записываются в общем виде следующим образом:

$$q_\mu(t) = f_\mu [Q_1(t), \bar{Q}_1(t), \dots, \bar{Q}_{\rho_0}(t), x_1(t), \dots, x_{\pi_0}(t)], \quad (10a)$$

где $Q_1, \bar{Q}_1, \dots, \bar{Q}_{\rho_0}, \dots, Q_{\rho_0}$ — потенциальные выходные сигналы элементов памяти; $\rho \in \{1, 2, \dots, \rho_0\}$, причем $\rho_0 = \log_2 [M]$, где M — число состояний рассматриваемого автомата; $1 \leq \mu \leq \mu_0$, где μ_0 — суммарное число входов всех ЭА.

В рассматриваемом примере $\pi_0 = l$, так как каждому j соответствует один определенный выходной сигнал блока П ($h = m$). Функции вида (10a) являются булевыми [8].

Особенность функций возбуждения ЭА в блоке У АЦИП состоит в том, что переменные $Q_1, \bar{Q}_1, \dots, Q_{\rho_0}, \bar{Q}_{\rho_0}$, входящие в формулу (10a), представляются выходными сигналами дешифратора, который обязателен в приборе для осуществления индикации результатов измерения [см. (5)]. Поэтому в j -й декаде АЦИП с троичным УС

$$q_\mu^j(t) = f_\mu^j [\psi_0^j(t), \psi_1^j(t), \dots, \psi_9^j(t), x_{1j}(t), \dots, x_{3j}(t)], \quad (10б)$$

где

$$\psi_\theta^j(t) = F_\theta [Q_1^j(t), \bar{Q}_1^j(t), \dots, Q_4^j(t), \bar{Q}_4^j(t)]; \quad \theta \in \{0, 1, \dots, 9\}.$$

На примере табл. 2 рассмотрим кратко методику структурного синтеза с помощью кодированных таблиц. Ниже при синтезе используется матричный метод [8].

Следует заметить, что в качестве ЭА в принципе можно выбирать самые различные типы запоминающих устройств (триггеры с дублированными переходами, со счетными входами, линии задержки и т. д.). Для синтеза поразрядного АЦИП в качестве ЭА нами взят для примера триггер с тремя импульсными входами (два отдельных q_{0p}^j, q_{1p}^j и один счетный q_{sp}^j) и потенциальным выходом. При выборе типа ЭА важно лишь, чтобы последний обладал так называемой полнотой переходов, т. е. позволял бы при некоторых сигналах на входе реализовать любой переход, имеющийся в кодированных таблицах (см., например, столбцы 2, 7; 3, 8 и т. д. в табл. 2).

Для ЭА с двумя внутренними состояниями таких переходов в принципе четыре: $0 \rightarrow 0, 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0, 1 \rightarrow 1$. Каждому переходу при выбран-

* В общем случае код набора образцовых величин в j -й декаде может отличаться от кода, принятого для внутренних состояний j -й декады блока У, и кода, в котором набираются приращения образцовой величины.

соответствие набор $o_\lambda, 0, b_\lambda$, переходу $1 \rightarrow 0 - b_\gamma, b_\gamma, 0$ (λ, γ — порядковые номера коэффициентов в строках кодированной таблицы). Таким образом, при матричном методе происходит заполнение столбцов для функций возбуждения ЭА (см. столбцы 11—22 в табл. 2).

Конкретный вид функций возбуждения ЭА с учетом дешифратора для АЦИП [см. (10б)] или непосредственно с учетом выходов ЭА для АЦП [см. (10а)] составляется на основе заполненной кодированной таблицы путем вариации неопределенных коэффициентов b в столбцах для ЭА₁, ..., ЭА_р (см. b_1, \dots, b_{29} для ЭА₁, ..., ЭА₄ в табл. 2). Следует подчеркнуть, что вариация неопределенных коэффициентов в кодированных таблицах позволяет рассматривать целые множества возможных вариантов реализаций структур (для выбранного типа ЭА), в которые включаются и существующие конструкции.

Например, с помощью табл. 2 можно рассмотреть вариант реализации на триггерах с отдельными входами, счетными входами и комбинированный вариант, когда часть ЭА используется как триггеры с отдельными входами, а другая часть — как триггеры со счетными входами.

Будем, например, считать, что выбранные нами ЭА m -й декады являются триггерами со счетными входами. В этом случае при синтезе все неопределенные коэффициенты в столбцах q_{0p}, q_{1p} (см. 12, 13; 15, 16; ..., 21, 22) нужно принять равными нулю. Тогда функция возбуждения ЭА₁ по счетному входу при использовании выходных сигналов дешифратора будет равна единице лишь на одном наборе, т. е.

$$q_{s1}^m = x_{2m} \wedge \psi_7^m. \quad (13)$$

Аналогично

$$q_{s2}^m = x_{2m} \wedge (\psi_4^m \vee \psi_7^m); \quad (14)$$

$$q_{s3}^m = x_{1m} \wedge (\psi_4^m \vee \psi_7^m) \vee x_{2m} \wedge (\psi_2^m \vee \psi_4^m \vee \psi_6^m \vee \psi_9^m); \quad (15)$$

$$q_{s4}^m = x_1 \wedge \psi_2^m \vee x_2 \wedge (\psi_1^m \vee \psi_2^m \vee \psi_3^m \vee \psi_5^m \vee \psi_6^m \vee \psi_8^m \vee \psi_9^m), \quad (16)$$

где $x_{1m} = x_1 \wedge z_0$, $x_{2m} = x_2 \wedge z_0$ — сигналы, полученные на выходе логического преобразователя ЛП _{m} (см. табл. 1, рис. 2).

Здесь уместно сделать несколько замечаний по поводу введенных ранее функций (4)—(7) и (12).

В том случае, когда коды БФОВ и регистра декады совпадают, функция (4) тривиальна: сигналы ω_γ дополнительно кодировать не требуется. Выходные сигналы ЭА (Q_1^j, \dots, Q_4^j) непосредственно подаются на входы БФОВ (18). Функция (5а) в каждый момент времени представляет из себя определенную совокупность функций выходов дешифраторов регистров декад блока У. Аналогичный смысл имеют и функции (6), (7).

Функция входного преобразователя блока П, зависящая от $x_1, x_2, \psi_0^m, \dots, \psi_9^m$, составляется по диаграмме переходов автомата (см. рис. 3):

$$\begin{aligned} \psi_n^m = & x_1 \wedge (\psi_0^m \vee \psi_1^m \vee \psi_3^m \vee \psi_5^m \vee \psi_6^m \vee \psi_8^m \vee \psi_9^m) \vee \\ & \vee x_2 \wedge (\psi_3^m \vee \psi_5^m \vee \psi_8^m). \end{aligned} \quad (17)$$

Совершенно аналогично записываются функции $\psi_n^{m-1}, \dots, \psi_n^1$, если в регистрах декад D_{m-1}, \dots, D_1 используется код 7421. Например, ψ_n^{m-1} отличается от ψ_n^m лишь тем, что вместо x_{1m}, x_{2m} аргументами соответственно являются $x_{1m-1} = x_1 \wedge z_1, x_{2m-1} = x_2 \wedge z_1$. Поскольку функции возбуждения декад блока У и функции ψ_n^j зависят от одних и тех же аргументов, то целесообразно выполнять их минимизацию и реализацию совместно. Вариант неповторной схемы на элементах И, ИЛИ, полученный для системы функций (13)–(17), приведен на рис. 4. Сигнал ψ_n^m поступает на D_{m-1} и входы блока П.

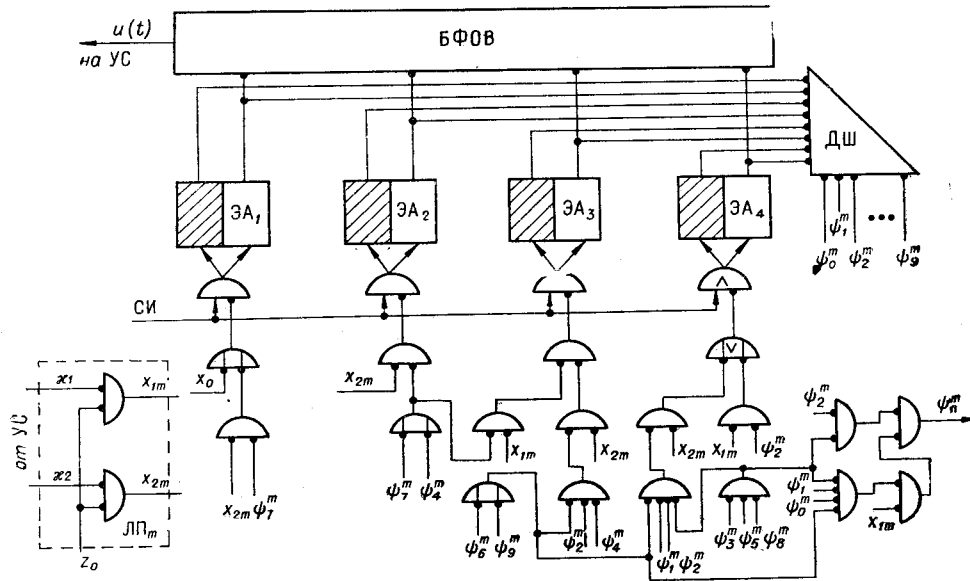


Рис. 4. Схема старшей декады поразрядного ациклического АЦИП (код 7421): ДШ — дешифратор; z_0 — выходной сигнал блока П; СИ — синхроимпульсы. (Схемы сброса ЭА не показаны.)

Схемы остальных декад при коде регистра и БФОВ 7421 аналогичны данной. Следует отметить, что в данном случае и везде ниже благодаря принудительному тактированию в схемах не возникает проблемы гонок в смысле, принятом в [11].

Функционирование блока Ф (БФОВ) [см. (12)] при использовании кода 7421 можно описать следующим выражением:

$$U_k(t) = \Delta \{ [10^{m-1}(7Q_1(t) + 4Q_2(t) + 2Q_3(t) + Q_4(t))] + [10^{m-2}(7Q_5(t) + 4Q_6(t) + 2Q_7(t) + Q_8(t))] + \dots + [(7Q_{4m-3}(t) + 4Q_{4m-2}(t) + 2Q_{4m-1}(t) + Q_{4m}(t))] \}, \quad (18)$$

где Q_1, \dots, Q_{4m} принимают независимо друг от друга значения 0 или 1.

Аналогично на основании табл. 2 можно рассмотреть вариант реализации декады, при котором элементарные автоматы трактуются как триггеры с отдельными входами. При этом все неопределенные коэффициенты в столбцах q_{sp}^m ($p = 1, \dots, 4$) полагаются равными нулю. Например, для ЭА_1 q_{01}^m равна единице на единственном наборе $x_{2m} \wedge \psi_7^m$ и $q_{11}^m = 0$. Аналогично $q_{02}^m = x_2^m \wedge \psi_4^m$; $q_{12}^m = x_2^m \wedge \psi_7^m = q_{01}^m$ и т. д.

Рассмотрим кратко, как организовано взаимодействие декад с блоком П. В случае, когда декада D_j ($j = 1, \dots, m$) реализует лишь один алгоритм измерения, блок П выступает как простой аналог тактового распределителя в циклических ЦИУ.

Пусть, например, $U_x = 370 \Delta$. В начале измерения блок П находится в состоянии b_0 . На выходе этого блока возникает потенциальный сигнал z_0 , который совместно с выходными сигналами блока УС (x_1, x_2, x_3) подается на входы ЛП $_m$ (см. рис. 2). С выходом этого преобразователя сигналы x_{1m}, x_{2m}, x_{3m} поступают на логические элементы декады (см. рис. 4).

В том случае, когда декада D_m в процессе измерения перейдет в состояние a_3^m , возникнет сигнал $\psi_{\Pi}^m = x_{1m} \wedge \psi_3^m$ (15), который поступит на вход соседней декады D_{m-1} . Одновременно этот сигнал поступит на вход блока П и вызовет в нем переход $b_0 \rightarrow b_1$ (табл. 4). На следующем такте блок П будет уже в состоянии b_1 , а декада D_{m-1} — в a_7^{m-1} . На выходе блока П возникнет потенциальный сигнал z_1 , который совместно с выходными сигналами блока УС подается на вход преобразователя ЛП $_{m-1}$ (см. рис. 2, 3). С выходов преобразователя ЛП $_{m-1}$ сигналы поступают на логику возбуждения декады (см. рис. 4), и процесс измерения повторится. При $U_x = 370 \Delta$ уравнивание закончится во второй декаде в том же такте, когда в П выработается сигнал z_1 .

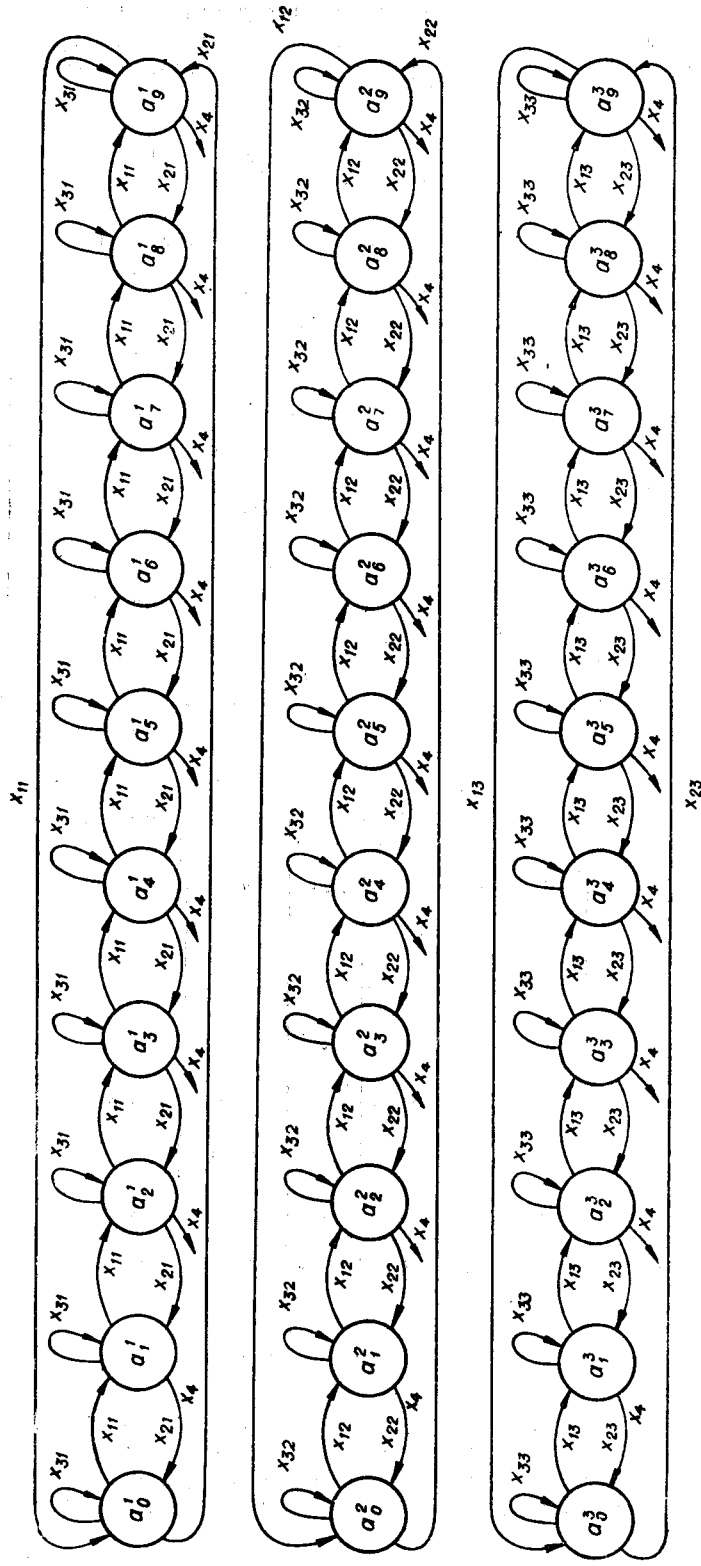
Ниже приводится таблица переходов блока П для m -декадных приборов поразрядного уравнивания. На основании кодированных таблиц, аналогичных табл. 2, 5, 6, можно провести структурный синтез и этого устройства.

Таблица 4

Выходной сигнал	z_0	z_1	z_2	...	z_{m-2}	z_{m-1}
Состояние	b_0	b_1	b_2	...	b_{m-2}	b_{m-1}
Входной сигнал						
ψ_{Π}^m	b_1	—	—	...	—	—
ψ_{Π}^{m-1}	—	b_2	—	...	—	—
.
ψ_{Π}^2	—	—	—	...	b_{m-1}	—
x_4	b_0	b_0	b_0	...	b_0	b_0
x_1, x_2, x_3	b_0	b_1	b_2	...	b_{m-2}	b_{m-1}

АЦП СЛЕДЯЩЕГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Диаграмма переходов блока У при этом методе уравнивания приведена на рис. 5. Отличительная ее особенность по сравнению с диаграммой переходов поразрядного ациклического АЦИП состоит в том, что на ней никак не отражается способ кодирования внутренних состояний блоков У.



$$x_{11} = x_1; \quad x_{12} = x_1 \wedge \psi_1^1; \quad x_{21} = x_2; \quad x_{22} = x_2 \wedge \psi_0^1; \quad x_{13} = x_1 \wedge \psi_1^2 \wedge \psi_0^2; \quad x_{23} = x_2 \wedge \psi_0^1 \wedge \psi_0^2; \quad x_{31} = x_{32} = x_{33} = x_3$$

Рис. 5. Диаграмма переходов трехдекадного ЦИУ следящего уравновешивания.

Особенностью реализации блок-схемы по рис. 1, 2 при этом методе уравнивания является то, что в П не требуется запоминания и функция такого блока выполняет комбинационная схема в блоке У, реализующая функции $x_{11}, x_{21}, x_{12}, x_{22}, x_{13}, x_{23}$, отмеченные на рис. 5.

Рассмотрим кратко методику синтеза декады блока У на автоматах Мура — Мили для следящего уравнивания при использовании в регистре и БФОВ кода 7421. Модели Мура — Мили были выбраны потому, что в счетчиках и пересчетных схемах применение автоматов этого типа обычно дает существенное уменьшение в сложности реализации логики возбуждения по сравнению с использованием только ЭА Мура.

Для простоты приведена кодированная таблица переходов одной декады блока У (табл. 5), составленная в соответствии с диаграммой переходов следящего уравнивания, изображенной на рис. 5. Формы представления одного и того же кода при поразрядном и следящем уравниваниях отличаются друг от друга. Так, например, состояние a_7^j кодируется в табл. 5 совершенно другой комбинацией состояний ЭА. В табл. 5 p_ρ^j ($\rho = 1, \dots, 4$) означает импульсный переход ЭА из 1 в 0, а r_ρ^j — из 0 в 1. Выработка этих сигналов на практике осуществляется обычно путем дифференцирования потенциальных выходных сигналов ЭА.

Значение функции возбуждения $q_{s4} \in A_4$ совпадает со значениями входного сигнала x_{1j} при наличии выходных сигналов дешифратора $\psi_0^j, \psi_1^j, \psi_2^j, \psi_3^j, \psi_4^j, \psi_5^j, \psi_6^j, \psi_8^j$ и входного сигнала x_{2j} при наличии выходных сигналов дешифратора $\psi_1^j, \psi_2^j, \psi_3^j, \psi_4^j, \psi_5^j, \psi_6^j, \psi_7^j, \psi_9^j$, т. е.

$$q_{s4}^j = x_{1j} \wedge (\psi_0^j \vee \psi_1^j \vee \psi_2^j \vee \psi_3^j \vee \psi_4^j \vee \psi_5^j \vee \psi_6^j \vee \psi_8^j) \vee x_{2j} \wedge (\psi_1^j \vee \psi_2^j \vee \psi_3^j \vee \psi_4^j \vee \psi_5^j \vee \psi_6^j \vee \psi_7^j \vee \psi_9^j).$$

Представив выходные сигналы $\psi_0^j, \dots, \psi_9^j$ дешифратора в виде конъюнкции выходов ЭА₁, ..., ЭА₄, после минимизации (использовались диаграммы Вейча в предположении, что коэффициенты $b_8, b_{10}, b_{11}, b_{19}$ в столбцах 26—28 табл. 5 равны нулю) получим

$$q_{s4}^j = x_{1j} \wedge (\bar{Q}_3^j \vee Q_2^j \wedge \bar{Q}_4^j \vee Q_2^j \wedge Q_4^j) \vee x_{2j} \wedge (Q_3^j \vee \bar{Q}_1^j \wedge Q_4^j \vee Q_1^j \wedge \bar{Q}_4^j).$$

Аналогично, приняв в столбцах 21—23 коэффициенты $b_1, b_2, b_3, \bar{b}_4, b_5, \bar{b}_6, b_7, b_8, \bar{b}_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, \bar{b}_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{16}, \bar{b}_{17}, b_{18}, \bar{b}_{19}, b_{20}$ равными нулю, найдем, что $q_{s3}^j = p_4^j \wedge x_{1j} \vee r_4^j \wedge x_{2j}$; функции установочных входов ЭА будут иметь следующий вид:

$$q_{03}^j = x_{1j} \wedge (\psi_7^j \vee \psi_9^j) = x_{1j} \wedge Q_3^j \wedge (\bar{Q}_1^j \wedge Q_2^j \wedge Q_4^j \vee Q_1^j \wedge \bar{Q}_2^j \wedge \bar{Q}_4^j);$$

$$q_{13}^j = x_{2j} \wedge (\psi_0^j \vee \psi_6^j) = x_{2j} \wedge \bar{Q}_2^j \wedge \bar{Q}_3^j \wedge (\bar{Q}_1^j \wedge \bar{Q}_4^j \vee Q_1^j \wedge Q_4^j).$$

Из табл. 5 после минимизации получим и остальные функции возбуждения ЭА:

$$\begin{aligned} q_{s2}^j &= x_{1j} \wedge p_3^j \wedge (\psi_0^j \vee \psi_1^j \vee \psi_2^j \vee \psi_3^j \vee \psi_4^j \vee \psi_5^j \vee \psi_6^j \vee \psi_7^j \vee \psi_8^j) \vee \\ &\vee x_{2j} \wedge r_3^j \wedge (\psi_1^j \vee \psi_2^j \vee \psi_3^j \vee \psi_4^j \vee \psi_5^j \vee \psi_6^j \vee \psi_7^j \vee \psi_8^j \vee \psi_9^j) = \\ &= x_{1j} \wedge p_3^j \wedge (Q_1^j \vee Q_4^j) \vee x_{2j} \wedge r_3^j \wedge (Q_2^j \vee Q_3^j \vee Q_4^j); \end{aligned}$$

$$q_{s1} = x_{1j} \wedge p_2^j \vee x_{2j} \wedge r_2^j;$$

$$q_{01} = x_{1j} \wedge \psi_0^j = x_{1j} \wedge Q_1^j \wedge \bar{Q}_2^j \wedge Q_3^j \wedge \bar{Q}_4^j;$$

$$q_{11} = x_{2j} \wedge \psi_0^j = x_{2j} \wedge \bar{Q}_1^j \wedge \bar{Q}_2^j \wedge \bar{Q}_3^j \wedge \bar{Q}_4^j.$$

Синтезируемое устройство представляет собой декадный реверсивный счетчик, работающий в коде 7421 (рис. 6). Таким образом, структурный

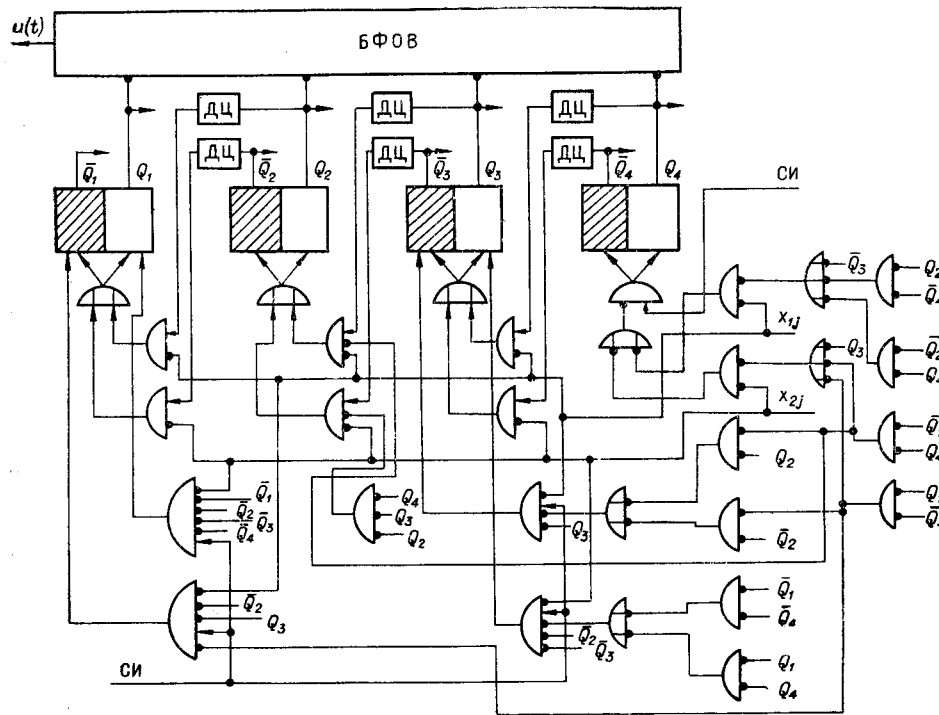
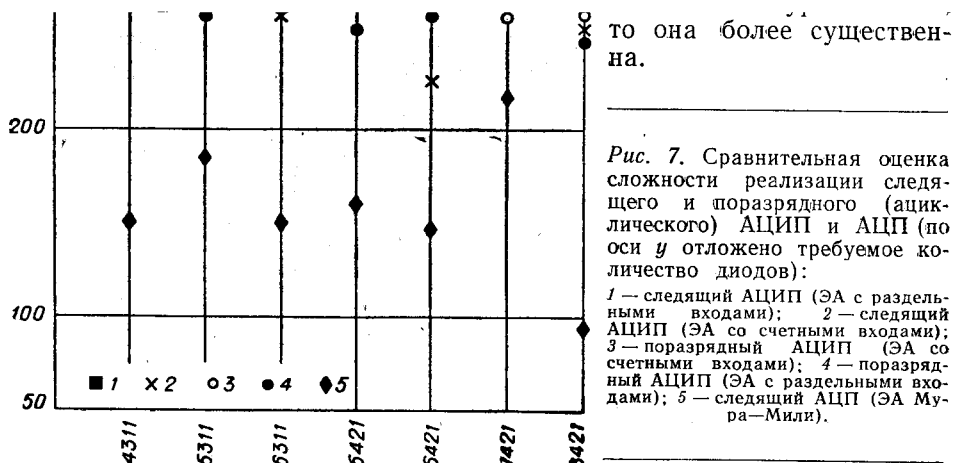


Рис. 6. Схема декады АЦИП следящего типа (код 7421):
ДЦ — дифференцирующие цепочки. (Схемы сброса ЭА не показаны.)

синтез на основе ЭА Мура — Мили приводит к классу схем, весьма распространенных в измерительных приборах.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЦИП (АЦП)

Различные приборы, относящиеся к данному методу уравнивания, а также к данному классу АЦИП (АЦП), отличаются, по сути дела, лишь структурой логических схем в устройстве управления уравниванием (см. рис. 4, 6). Это позволяет произвести сравнительную оценку сложности реализации различных вариантов АЦИП. Ниже (рис. 7) сложность реализации логики трехдекадных приборов оценивается суммарным числом диодов, как это и принято при структурном синтезе ЦВМ. Из рис. 7 следует, что при использовании ЭА Мура (см. 1—4) сложность реализации слабо зависит от применяемого кода,



ЦИКЛИЧЕСКИЙ АЦП

На практике сейчас широко применяются различные приборы и преобразователи циклического типа, у которых время кодирования постоянно. Представляет интерес возможность применения методов структурного синтеза к данному классу устройств. В качестве примера

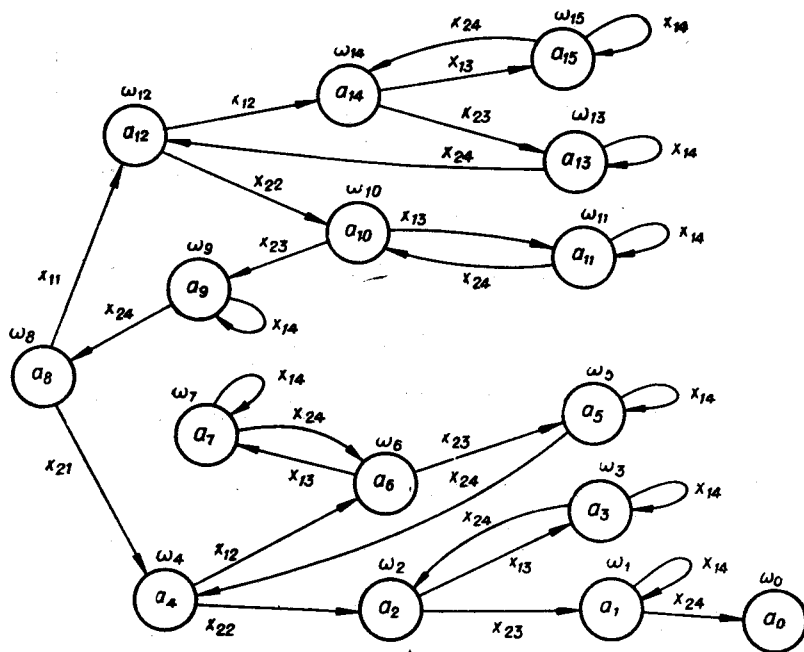


Рис. 8. Диаграмма переходов поразрядного ЦИУ циклического типа при двоичном коде.

1	x_{11}	1	0	0	0	—	1	1	0	0	0	0	b_1	b_1	0	b_1	0	b_1	0	0	b_1	0							
2	x_{21}	1	0	0	0	—	0	1	0	0	0	b_2	\bar{b}_2	0	b_2	0	\bar{b}_2	0	b_2	0	0	b_2	0						
3	x_{12}	0	1	0	0	—	0	1	1	0	0	0	b_3	0	0	0	b_3	b_3	0	\bar{b}_3	0	b_3	0						
4	x_{12}	1	1	0	0	—	1	1	1	0	0	0	b_4	0	0	b_4	b_4	0	\bar{b}_4	0	b_4	0							
5	x_{22}	0	1	0	0	—	0	0	1	0	0	0	b_5	0	b_5	\bar{b}_5	0	b_5	0	\bar{b}_5	0	b_5	0						
6	x_{22}	1	1	0	0	—	1	0	1	0	0	0	b_6	b_6	\bar{b}_6	0	b_6	0	\bar{b}_6	0	b_6	0							
7	x_{13}	1	1	1	0	—	1	1	1	1	0	0	b_7	0	0	b_7	0	0	b_7	b_7	0	\bar{b}_7	0						
8	x_{13}	1	0	1	0	—	1	0	1	1	0	0	b_8	0	b_8	0	0	0	b_8	b_8	0	\bar{b}_8	0						
9	x_{13}	0	1	1	0	—	0	1	1	1	0	0	b_9	0	0	0	b_9	0	0	b_9	b_9	0	\bar{b}_9	0					
10	x_{13}	0	0	1	0	—	0	0	1	1	0	0	b_{10}	0	0	b_{10}	0	0	0	b_{10}	b_{10}	0	\bar{b}_{10}	0					
11	x_{23}	1	1	1	0	—	1	1	0	1	0	0	b_{11}	0	0	b_{11}	b_{11}	\bar{b}_{11}	0	b_{11}	0	\bar{b}_{11}	0	\bar{b}_{11}	0				
12	x_{23}	1	0	1	0	—	1	0	0	1	0	0	b_{12}	0	b_{12}	0	b_{12}	\bar{b}_{12}	0	b_{12}	0	\bar{b}_{12}	0	\bar{b}_{12}	0				
13	x_{23}	0	1	1	0	—	0	1	0	1	0	0	b_{13}	0	0	0	b_{13}	\bar{b}_{13}	\bar{b}_{13}	0	b_{13}	0	\bar{b}_{13}	0	\bar{b}_{13}	0			
14	x_{23}	0	0	1	0	—	0	0	0	1	0	0	b_{14}	0	0	b_{14}	0	\bar{b}_{14}	\bar{b}_{14}	0	b_{14}	0	\bar{b}_{14}	0	\bar{b}_{14}	0			
15	x_{14}	1	1	1	1	—	1	1	1	1	0	0	b_{15}	0	0	b_{15}	0	0	b_{15}	0	0	b_{15}	0	\bar{b}_{15}	0	\bar{b}_{15}	0		
16	x_{14}	1	1	0	1	—	1	1	0	1	0	0	b_{16}	0	0	b_{16}	0	b_{16}	0	0	0	0	b_{16}	0	\bar{b}_{16}	0	\bar{b}_{16}	0	
17	x_{14}	1	0	1	1	—	1	0	1	1	0	0	b_{17}	0	b_{17}	0	0	0	b_{17}	0	0	b_{17}	0	\bar{b}_{17}	0	\bar{b}_{17}	0		
18	x_{14}	1	0	0	1	—	1	0	0	1	0	0	b_{18}	0	b_{18}	0	0	b_{18}	0	0	0	b_{18}	0	\bar{b}_{18}	0	\bar{b}_{18}	0		
19	x_{14}	0	1	1	1	—	0	1	1	1	0	0	b_{19}	0	0	0	b_{19}	0	0	b_{19}	0	0	b_{19}	0	\bar{b}_{19}	0	\bar{b}_{19}	0	
20	x_{14}	0	1	0	1	—	0	1	0	1	0	0	b_{20}	0	0	0	b_{20}	0	b_{20}	0	0	0	b_{20}	0	\bar{b}_{20}	0	\bar{b}_{20}	0	
21	x_{14}	0	0	1	1	—	0	0	1	1	0	0	b_{21}	0	0	b_{21}	0	0	0	b_{21}	0	0	b_{21}	0	\bar{b}_{21}	0	\bar{b}_{21}	0	
22	x_{14}	0	0	0	1	—	0	0	0	1	0	0	b_{22}	0	0	b_{22}	0	0	b_{22}	0	0	0	b_{22}	0	\bar{b}_{22}	0	\bar{b}_{22}	0	
23	x_{24}	1	1	1	1	—	1	1	1	0	0	0	b_{23}	0	0	b_{23}	0	0	b_{23}	\bar{b}_{23}	\bar{b}_{23}	0	b_{23}	0	\bar{b}_{23}	0	\bar{b}_{23}	0	
24	x_{24}	1	1	0	1	—	1	1	0	0	0	0	b_{24}	0	0	b_{24}	0	b_{24}	0	\bar{b}_{24}	0	b_{24}	\bar{b}_{24}	0	\bar{b}_{24}	0	\bar{b}_{24}	0	
25	x_{24}	1	0	1	1	—	1	0	1	0	0	0	b_{25}	0	b_{25}	0	0	0	b_{25}	b_{25}	\bar{b}_{25}	0	b_{25}	0	\bar{b}_{25}	0	\bar{b}_{25}	0	
26	x_{24}	1	0	0	1	—	1	0	0	0	0	0	b_{26}	0	b_{26}	0	0	b_{26}	0	b_{26}	0	\bar{b}_{26}	\bar{b}_{26}	0	b_{26}	0	\bar{b}_{26}	0	
27	x_{24}	0	1	1	1	—	0	1	1	0	0	0	b_{27}	0	0	0	b_{27}	0	0	b_{27}	b_{27}	\bar{b}_{27}	0	b_{27}	0	\bar{b}_{27}	0	\bar{b}_{27}	0
28	x_{24}	0	1	0	1	—	0	1	0	0	0	0	b_{28}	0	0	0	b_{28}	0	b_{28}	0	b_{28}	0	b_{28}	\bar{b}_{28}	0	b_{28}	0	\bar{b}_{28}	0
29	x_{24}	0	0	1	1	—	0	0	1	0	0	0	b_{29}	0	0	b_{29}	0	0	0	b_{29}	b_{29}	\bar{b}_{29}	0	b_{29}	0	\bar{b}_{29}	0	\bar{b}_{29}	0
30	x_{24}	0	0	0	1	—	0	0	0	0	0	0	b_{30}	0	0	b_{30}	0	0	b_{30}	0	b_{30}	\bar{b}_{30}	0	b_{30}	0	\bar{b}_{30}	0	\bar{b}_{30}	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22							

рассмотрим циклический поразрядный АЦП, работающий от середины шкалы в двоичном коде.

Запишем диаграмму переходов такого АЦП для небольшого числа внутренних состояний (рис. 8). Основные обозначения: a_i — состояние блока $У$, которому соответствует i -е значение образцовой величины, т. е. $a_i \sim U = i \Delta$; x_{1k} , x_{2k} — сигналы κ_1 , κ_2 УС [см. (16)] соответственно при k -м такте распределителя синхронпотенциалов, т. е.

$$x_{1k} = x_1 \wedge t_k, \quad x_{2k} = x_2 \wedge t_k.$$

Рассмотрим вариант реализации структуры четырехразрядного АЦП, в регистре которого используются ЭА с отдельными входами. Воспользуемся табл. 6. Полагая все неопределенные коэффициенты b равными нулю, получим, что каждый из элементарных автоматов меняет свое состояние не более двух раз за время измерения. Так, ЭА₂ меняет свое состояние в первом и во втором тактах. Это означает, что число возможных изменений состояний ЭА не больше информационной емкости этих автоматов; поэтому не возникает необходимости в переносах в старшие разряды и соответственно в связях между ЭА. Иными словами, возбуждение ЭА можно осуществить независимо. Поэтому в данном случае функции возбуждения имеют вырожденный характер (напомним, что $\kappa_1 = \kappa_2$):

$$\begin{aligned} q_{04} &= x_{21} = x_2 \wedge t_1; & q_{14} &= 0; \\ q_{03} &= x_{22} = x_2 \wedge t_2; & q_{13} &= x_{11} \vee x_{21} = t_1; \\ q_{02} &= x_{23} = x_2 \wedge t_3; & q_{12} &= x_{12} \vee x_{22} = t_2; \\ q_{01} &= x_{24} = x_2 \wedge t_4; & q_{11} &= x_{13} \vee x_{23} = t_3. \end{aligned}$$

По индукции для n -разрядного АЦП ($n > 4$):

$$q_{0k} = x_2 \wedge t_{n-k+1}; \quad q_{1k} = t_{n-k} \quad (k = 1, 2, \dots, n).$$

Схема синтезированного АЦП совпадает со схемой, приведенной в [12].

Кроме рассмотренных выше приборов и преобразователей, выполнены описание и структурный синтез для ациклических поразрядных и следящих АЦИП (АЦП) по 17 положительным взвешенным двоично-десятичным кодам. Подобная работа проведена в отношении ациклических неравномерно-следящих АЦИП с чередующимся и параллельным уравновешиванием. Из других типов АЦП рассматривались поразрядный циклический преобразователь с измерением от предыдущего значения, двухканальный АЦП с повышенной помехоустойчивостью и надежностью и вариант ациклического прибора с многими устройствами сравнения по алгоритму, предложенному в [2]. Большинство реализаций перечисленных выше типов приборов и преобразователей получено впервые, а в тех случаях, когда имелся прототип, результаты структурного синтеза не приводили к более сложным схемам.

ВЫВОДЫ

Описание заданных алгоритмов функционирования АЦИП (АЦП) и последующий структурный синтез с использованием теории конечных автоматов приводят к конструкциям, адекватным реальным приборам и

преобразователям. Это позволяет (при уточнении варианта технической реализации) получить корректные оценки сложности реализации различных алгоритмов.

Выявлена определенная специфика в способах кодирования внутренних состояний устройств управления АЦИП и в характере функций возбуждения элементарных автоматов.

Рассмотренные в работе вопросы непосредственно связаны с разработкой микроэлектронных АЦИП и АЦП. Пользуясь полученным логическим описанием, можно провести, во-первых, ряд предварительных оценок применимости того или иного набора выпускаемых промышленностью микросхем для реализации приборов и преобразователей, работающих по самым различным алгоритмам, во-вторых — моделирование различных АЦИП и АЦП в однородных микроэлектронных структурах с настройкой.

Авторы приносят благодарность д-ру техн. наук М. П. Цапенко и канд. техн. наук А. Н. Касперовичу за помощь в постановке задачи и полезные советы по данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Гореликов, А. Н. Касперович, И. И. Коршевер, М. П. Цапенко. О построении цифровых приборов уравнивания с переменной структурой.— Автометрия, 1965, № 4.
2. J. R. Cox, D. H. Gleis et. A Quantizing Encoder.— IEEE Trans., 1964, EC-12, № 3.
3. Б. В. Карпюк. Об алгоритмическом описании процессов измерения.— Измерительная техника, 1962, № 1.
4. А. М. Богомолов. Алгоритмы процесса измерения и пути их конструктивной реализации.— Труды ВНИИ Гидрологии, вып. 101. Л., 1963.
5. Е. С. Согомоян. Минимизация структуры многофункциональных устройств дискретной техники.— Сб. «Теория и применение автоматических систем». М., «Наука», 1964.
6. В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. Способы построения блока программного управления управляющего устройства.— Проблемы передачи информации, 1963, вып. 15.
7. М. А. Айзерман, А. А. Гусев, Л. Н. Розоноэр, И. И. Смирнова, А. А. Таль. Логика. Автоматы. Алгоритмы. М., Физматгиз, 1963.
8. Е. Н. Вавилов, Г. П. Портной. Синтез схем электронных цифровых машин. М., «Советское радио», 1963.
9. П. Е. Твердохлеб. Методика построения закона распределения погрешностей цифраторов, работающих в условиях импульсных помех.— Автометрия, 1965, № 5.
10. Н. И. Гореликов, В. В. Ефименко, И. И. Коршевер. О цифровых приборах поразрядного уравнивания с неравномерным циклом кодирования.— Автометрия, 1965, № 3.
11. В. М. Глушков. Синтез цифровых автоматов. М., Физматгиз, 1962.
12. А. Н. Касперович, В. А. Ракитская, М. П. Цапенко. Цифровой транзисторный милливольтметр с электролюминесцентным отсчетным устройством.— Автоматический контроль и методы электрических измерений. (Труды III конференции), т. II. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.

*Поступила в редакцию
29 апреля 1967 г.*