

И. Р. ДОБРОВИНСКИЙ

(Пенза)

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ И СИНТЕЗ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ ПРЯМОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Многообразие и все увеличивающаяся сложность цифровых измерительных приборов требуют строгого математического аппарата, позволяющего анализировать и синтезировать структуры этих устройств, отыскивать оптимальные структуры с точки зрения выбранного критерия (быстродействия, точности, сложности и т. д.). Для решения этих задач можно использовать некоторые результаты теории алгоритмов [1, 2]. Первая попытка описания работы измерительных цепей с помощью теории алгоритмов для трех наиболее известных способов дискретного уравнивания была предпринята Б. В. Карпуком и М. П. Цапенко [3].

Большой интерес представляет метод прямого уравнивания [4], обеспечивающий в принципе более высокое быстродействие, чем методы следящего, поразрядного и развертывающего уравнивания. Принцип работы цифровых вольтметров прямого уравнивания (ЦВПУ) достаточно подробно освещен в [5]. В ЦВПУ во время отработки любого разряда отсчета, кроме последнего, при котором компенсирующее напряжение не вводится, происходит два сравнения. При первом сравнении (C_1) измеряемое напряжение U или некомпенсированный его остаток оценивается декадой пороговых элементов и вводится соответствующее компенсирующее напряжение V . При втором сравнении (C_2) проверяется правильность введенного компенсирующего напряжения и в случае необходимости вводится поправка в результат измерения. При использовании принципа прямого уравнивания возможны различные режимы работы ЦВПУ: циклический, ациклический и следящий. В вольтметре циклического режима работы время измерения постоянно и определяется частотой тактового генератора. В вольтметре ациклического режима работы время измерения меняется в зависимости от поправки в измерении. В вольтметре следящего режима работы производится сброс и отработка только тех разрядов измеряемого напряжения, в которых оно изменяется.

В настоящей статье получены алгоритмы работы ЦВПУ для всех трех режимов. В операторной форме логическая схема алгоритма работы ЦВПУ циклического режима имеет вид

$$A^x \downarrow \{ p \rightarrow 1 \} \overline{A_p} \downarrow \overline{3 \delta F_{(p)}} \downarrow C_n \downarrow \text{Сбр}, \quad (1)$$

ациклического —

$$A_x^t \{p \rightarrow 1\} \overline{A_p C_1 A_p^i C_2 \alpha A_p^{i-1} \delta F_{(p)}} \downarrow \text{Сч Сбр } p, \quad (2)$$

следящего —

$$A_x^t \{p \rightarrow 1\} \overline{A_p C_1 A_p^i C_2 \alpha A_p^{i-1} \delta F_{(p)}} \downarrow \text{Сч } (\beta \vee \gamma) \text{Сбр } \overline{F_{(p)}} \text{Сч}. \quad (3)$$

Здесь большие буквы русского и латинского алфавита — операторы действия, малые буквы греческого алфавита — предикаты:

- A_x^t — оператор включения измеряемого напряжения в текущий момент времени t ;
 - $\{p \rightarrow 1\}$ — оператор присвоения декаде пороговых элементов индекса (p) старшего разряда, где p меняется от 1 до n ;
 - A_p — оператор включения p -й декады пороговых элементов;
 - \exists — оператор задержки, учитывающий время оценки измеряемого напряжения декадой пороговых элементов, ввод компенсирующего напряжения и поправки в измерение;
 - δ — оператор, проверяющий выполнение логического условия $p < n$;
 - $F_{(p)}$ — оператор переадресации, увеличивающий индекс разряда p на 1;
 - Сч — оператор считывания результатов измерения;
 - Сбр — оператор сброса и повторения измерений;
 - C_1 — оператор оценки величины измеряемого напряжения;
 - C_2 — оператор проверки правильности введенного компенсирующего напряжения;
 - A_p^i — оператор срабатывания i -го элемента p -й декады пороговых элементов и ввода i -го дискретного значения компенсирующего напряжения;
 - α — оператор, проверяющий выполнение условия $U < V$;
 - $\overline{F_{(p)}}$ — оператор переадресации, уменьшающий индекс разряда p на 1;
- Для следящего режима работы ЦВПУ введено еще два логических оператора (предиката), отображающих работу концевых пороговых элементов — десятого и нулевого:
- β — оператор, проверяющий выполнение условия

$$U - \sum_1^{p-1} V > K_p V_n^{10},$$

где $\sum_1^{p-1} V$ — компенсирующее напряжение, введенное в $p-1$ первых разрядов отсчета;

K_p — коэффициент приведения напряжения разбаланса к декаде пороговых элементов;

V_n^{10} — напряжение порога срабатывания десятого порогового элемента;

γ — оператор, проверяющий выполнение условия $U - \sum_1^{p-1} V < 0$.

Следуя [6], перейдем от логической схемы алгоритма к булевым функциям, описывающим структуру схемы управления отдельными операциями ЦВПУ. Решение этой задачи произведем для конкретного n , равного 3.

Алгоритм работы трехразрядного ациклического ЦВПУ при обозначении числовых наборов сработавших пороговых элементов соответствующих разрядов через i, j, k можно описать

$$A_x^i C_1 A_1^i C_2 \alpha \underbrace{A_1^{i-1}} \uparrow C_1 A_{II}^j C_2 \alpha \underbrace{A_{II}^{j-1}} \uparrow C_1 A_{III}^k \text{Сч Сбр.}$$

$C_1 A_1^i$	0	α	$\bar{\alpha}$	0	0	0	0
$C_2 A_1^{i-1}$	0	0	1	0	0	0	0
$C_1 A_{II}^j$	0	0	0	α	$\bar{\alpha}$	0	0
$C_2 A_{II}^{j-1}$	0	0	0	0	1	0	0
$C_1 A_{III}^k$	0	0	0	0	0	1	0
Сч	0	0	0	0	0	0	1

Учитывая, что ЦВПУ представляет собой аналого-цифровую систему переработки информации, состоящую из конечного числа функциональных элементов, реализующих некоторые операторы действия, и блока управления, который осуществляет автоматическое управление работой функциональных элементов, согласно заданному алгоритму, обозначим τ промежуток времени между выполнениями соседних операторов действия и введем следующие дополнительные логические переменные:

$$\omega_0 = \begin{cases} 1 & \text{в момент начала работы;} \\ 0 & \text{во все остальное время;} \end{cases}$$

$$\omega_i = \begin{cases} 1 & \text{только в промежутке времени} \\ & \text{после выполнения оператора } A_i \\ & \text{и до начала выполнения оператора } A_{i+2}; \\ 0 & \text{во все остальное время.} \end{cases}$$

Из заданной матричной схемы алгоритма получим следующие функции выполнения операторов:

$$\begin{aligned} R(C_1 A_1^i) &= \omega_0; & R(C_1 A_{III}^k) &= \omega_3 \bar{\alpha} \vee \omega_4; \\ R(C_2 A_1^{i-1}) &= \omega_1 \alpha; & R(\text{Сч}) &= \omega_5; \\ R(C_1 A_{II}^j) &= \omega_1 \bar{\alpha} \vee \omega_2; & R(\text{Сбр}) &= \omega_6. \\ R(C_2 A_{II}^{j-1}) &= \omega_3 \alpha; \end{aligned}$$

По заданным функциям выполнения операторов на рис. 1 построена схема управления ЦВПУ ациклического режима работы. Схема управления представляет собой сдвигатель, сигналы $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_6$ которого

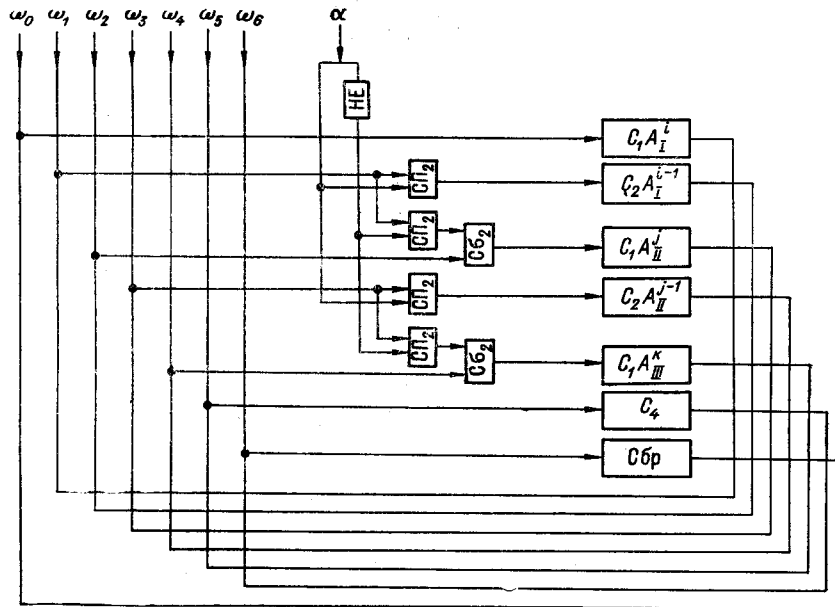


Рис. 1.

берутся с регистров, а сигналы α и $\bar{\alpha}$ — от измерительной цепи ЦВПУ. Число тактов измерения будет переменным от 7τ до 5τ .

При выполнении оператора $\alpha=1$ в обоих первых разрядах измерения время измерения будет составлять 7τ , а при $\bar{\alpha}=1$ 5τ . Аналогично производится синтез схем управления ЦВПУ циклического и следящего режимов работы, схемы которых соответственно приведены на рис. 2 и 3 и представляют собой тоже сдвигатели.

Анализируя полученные схемы управления ЦВПУ, можно сделать вывод, что незначительное усложнение ациклической схемы управления ЦВПУ (см. рис. 1) дает существенный эффект по быстродействию в сравнении с аналогичным ЦВПУ циклического режима работы. Действительно, время измерения ациклического ЦВПУ для приведенного случая равно $5-7\tau$, в то время как для аналогичного циклического ЦВПУ время измерения постоянно и равно 7τ .

При незначительном увеличении оборудования, касающемся в основном схемы управления (см. рис. 3), реализован следящий ЦВПУ, имеющий характерные для следящего режима преимущества: уменьшение избыточной информации об измеряемой величине и динамической погрешности измерения.

Полученные схемы управления легли в основу ЦВПУ, разработанных в отраслевой лаборатории ППИ.

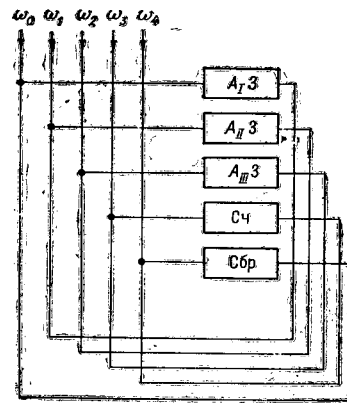


Рис. 2.

В заключение следует указать, что основным преимуществом, оправдывающим применение аппарата логических схем алгоритмов к таким сравнительно простым структурам, как ЦВПУ, является возможность использования равносильных преобразований для конструирования из них более сложных, в частности адаптивных, структур, оценки их

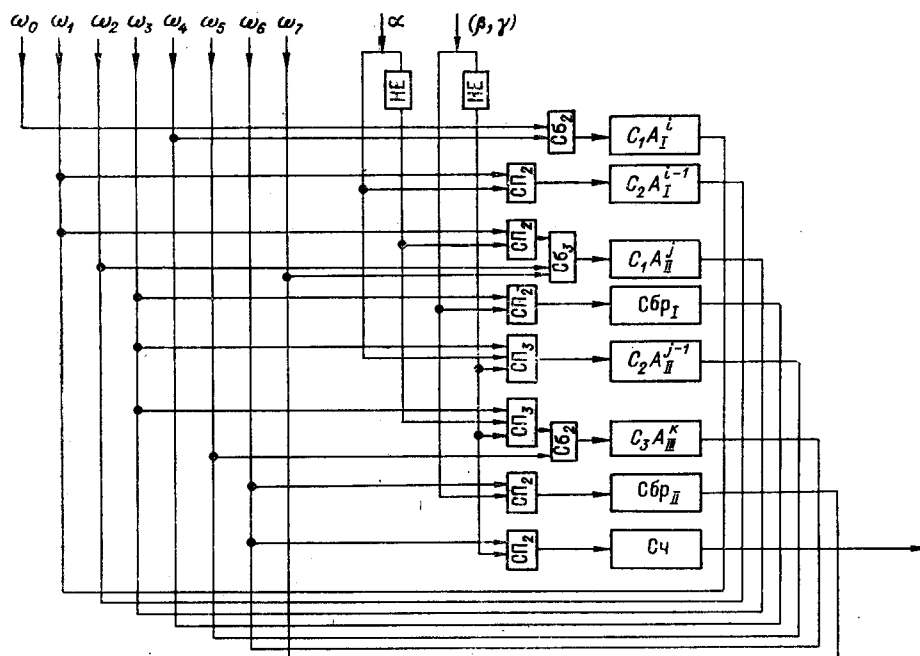


Рис. 3.

сложности на самой ранней стадии проектирования, а также возможность перехода от логической схемы алгоритма к схемам управления этих структур.

Автор считает своим долгом выразить признательность проф. В. М. Шляндину за постановку задачи и ценные замечания при обсуждении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ляпунов. О логических схемах программ.— Проблемы кибернетики, 1958, вып. 1.
2. Н. А. Криницкий, Г. А. Миронов, Г. Д. Фролов. Программирование. М., Физматгиз, 1963.
3. Б. В. Карпюк. Об алгоритмическом описании процессов измерения.— Измерительная техника, 1962, № 1.
4. В. М. Шляндин. Авторское свидетельство № 137187.— Бюллетень изобретений, 1961, № 7.
5. В. М. Шляндин. Электрические приборы прямого уравнивания.— Измерительная техника, 1965, № 7.
6. В. Ф. Дьяченко. О методе перехода от логических схем алгоритмов к булевым функциям.— Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1963, № 6.

Поступила в редакцию
26 ноября 1966 г.,
окончательный вариант —
30 января 1967 г.