

УДК 681.142.353

УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КРИОТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

В.Ф.Гурко

В работе описываются схемы управления и контроля криотронной вычислительной среды. Рассматриваются некоторые виды неисправностей, и предлагается метод контроля настроенного поля и элементов вычислительной среды.

1. Схемы управления вычислительной средой

Блок-схема макета криотронной вычислительной среды показана на рис. 1. Здесь I — поле элементов вычислительной среды, $\mathcal{D}_1$, $\mathcal{D}_2$, $\mathcal{D}_3$ — соответственно пирамидальные дешифраторы вертикальных и горизонтальных настроенных шин и блока индикации, II — блок памяти дешифратора горизонтальных шин, III — схема "И" блока индикации, IV — криотронный генератор релаксационных колебаний (КГРК) [1] блока индикации.

Схема элемента вычислительной среды приведена на рис. 2. Элемент содержит три настроенных контура α_1 , α_2 , α_3 и три информационные ветви А, Б, В. Криотрон κ выполняет переключательную функцию нормально-замкнутого контакта. Настройка эле-

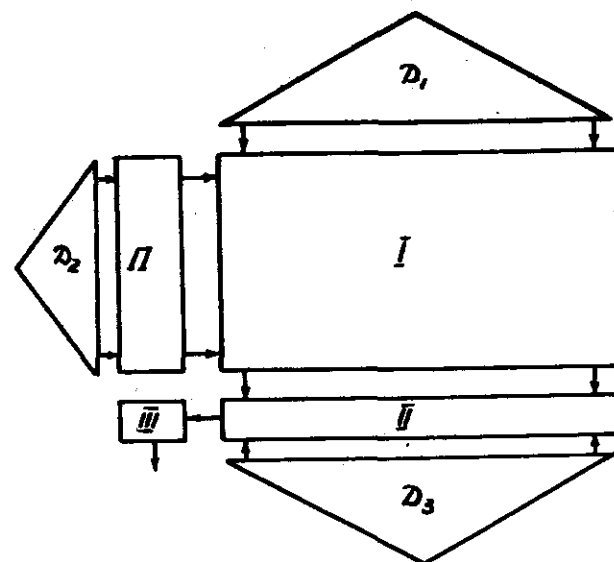


Рис. 1

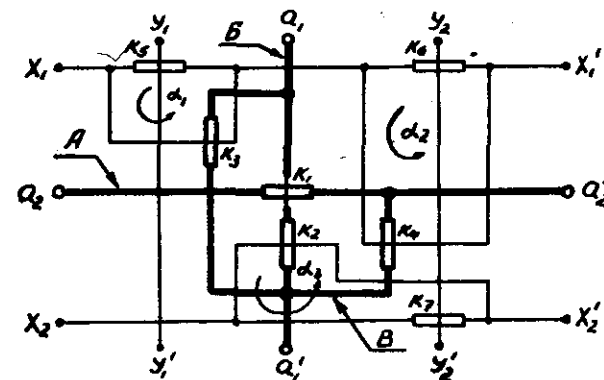


Рис. 2

мента на различные состояния [2], которыми должен обладать элемент вычислительной среды, осуществляется путем записи незатухающих токов $J_{\alpha} > J_{\alpha c}^{*}$ в $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$.

Табл. I характеризует состояние элемента в зависимости от записи тока в настроечные контуры.

Т а б л и ц а I

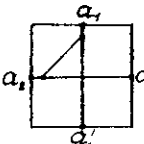
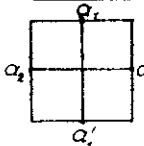
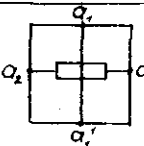
С о с т о я н и е	Контуры с током	Возбужденные криотроны
P'' 	α_3	K_2
D'' 	α_2, α_3	K_2, K_4
F'' 	α_1, α_2	K_3, K_4

Схема пирамидального дешифратора на четыре выхода и два разряда входного кода показана на рис. 3. К каждому из его выходов подсоединяется нагрузка. При любом входном коде только в одной ветви сохраняется сверхпроводимость всех криотронов. В эту ветвь и устремляется ток питания J_0 дешифратора.

В вычислительной среде с элементами указанного типа настройка каждого отдельного элемента невозможна, так как при этом настроечный импульс в вертикальной шине уничтожит (согнет) пер-

*) $J_{\alpha c}$ - критический ток сетки криотрона, при котором его вентиль переходит в нормальное состояние.

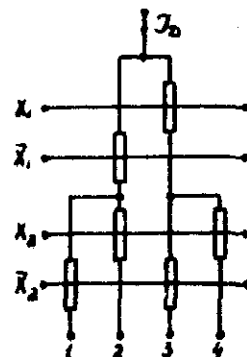


Рис. 3

систорные токи во всех остальных настроечных контурах этого столбца. Поэтому необходимо подавать одновременно все токи горизонтальных шин всех настраиваемых элементов данного столбца. Для этого используется схема, показанная на рис. 4, где β_i ($i = 1, 2, \dots, k$) - контуры памяти дешифратора горизонтальных шин, L_i ($i = 1, 2, \dots, k$) - индуктивности горизонтальных настроечных шин, $J_{\alpha c}$ - ток сброса, J_{α} - ток настройки, J_n - ток питания контуров памяти.

На рис. 5 показана схема блока индикации. В связи с тем, что в криотронной логике применяется метод бинарного кодирования, выходы α_i последнего ряда элементов вычислительной среды объединены парно, так как сигнал может существовать только в одном из них. Сигнал, снимаемый с индикаторных криотронов K_u , мал

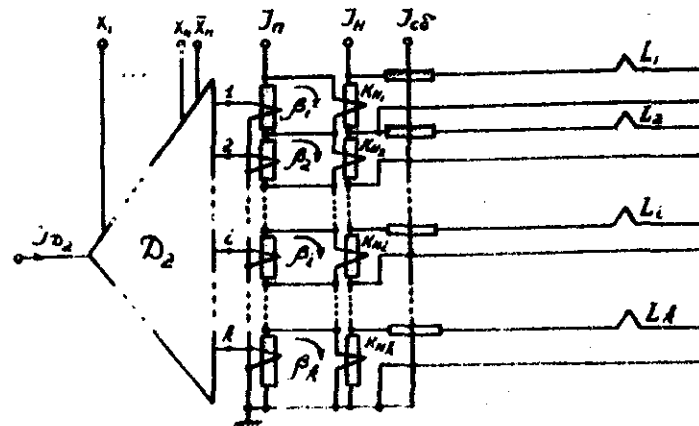


Рис. 4

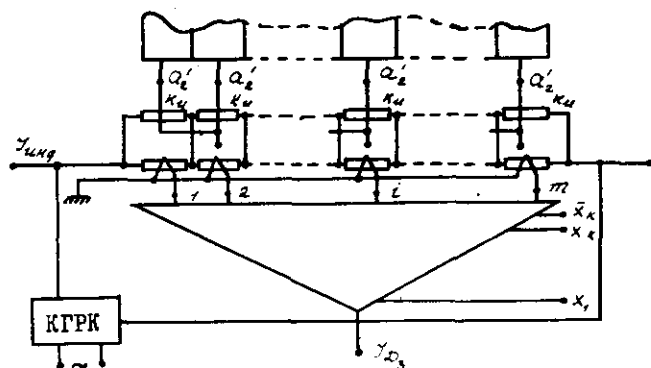


Рис. 5

($\sim 10 \mu\text{В}$), поэтому используется КГРК, позволяющий получать на выходе переменное напряжение $\sim 10 \text{ мВ}$. Для того, чтобы не вводить в схему большое число генераторов, используется схема "И" и один КГРК, который может быть попеременно подключен к любому выходу α'_2 .

2. Метод и схемы контроля вычислительной среды

Основные причины неисправностей криотронных схем:

- 1) короткие замыкания,
- 2) несверхпроводимость какого-либо участка схемы,
- 3) разрывы проводников.

Короткие замыкания в схеме возникают между сеткой и вентилем криотронов, а также в местах пересечения проводников. Для плёночных схем возможно замыкание схемы на экран, который напыляется под (или над) всей схемой. Наличие коротких замыканий приводит к ветвлению тока в схеме и полкой или частичной её неработоспособности.

Из-за причин 2 и 3 возникает один и тот же вид неисправности, потому что наличие несверхпроводящего участка в схеме равнозначны разрыву проводника. Такие неисправности в дальнейшем будем называть неисправностью вида "обрыв".

Таким образом, основные неисправности криотронных схем могут быть классифицированы на короткие замыкания и "обрывы".

Метод контроля криотронной вычислительной среды, рассматриваемый в данной работе, посвящен нахождению неисправностей вида "обрыв" в предположении, что все короткие замыкания найдены и устранены.

Причинами неисправностей элементов, устройств настройки и управления криотронной вычислительной среды являются следующие:

- 1) "обрывы" проводников в элементе вычислительной среды;
- 2) "обрывы" настроечных шин;
- 3) "обрывы" какого-либо выхода дешифратора;
- 4) "обрыв" в контуре β_2 ;
- 5) "обрыв" вентиля $K_{\alpha'_2}$ (рис. 2, 3, 4).

Указанные неисправности элемента, устройств настройки и управления криотронной вычислительной среды наиболее часто встречаются при экспериментальной проверке макетов вычислительной среды*).

Виды неисправностей и функции, которые может выполнять элемент при указанном виде неисправности, приведены в табл. 2. Неисправности в устройствах настройки и управления приводят к тому, что элементы целых столбцов (строк) не настраиваются на выполнение всех функций.

Проверка вычислительной среды проводится в следующей последовательности:

- А) Проверяется исправность устройств настройки и управления.
- Б) Проверяется выполнение элементами всех функций.

А) Проверка устройств настройки и управления.

а) Схема проверки вертикальных настроечных шин совместно с дешифратором $\mathcal{D}_1$ показана на рис. 6. Перед проверкой в контур α'_2 записывается ток. На входы дешифратора подается код, соответствующий проверяемой шине настройки. При отсутствии сверхпроводящего пути и после того, как стерт ток в контуре α'_2 ,

* Испытания в жидком гелии проводились в Харьковском физико-техническом институте.

Таблица 2

Вид неисправности						Функция, выполняемая элементом
Обрыв ad	Обрыв $abcd$	Обрыв med	Обрыв α_1	Обрыв α_2	Обрыв α_3	
—	—	—	—	—	—	"D", "D"
—	—	—	—	—	—	"F"
—	—	—	—	—	—	"F", "D"
—	—	—	—	—	—	"D", "D"
—	—	—	—	—	—	"D"
—	—	—	—	—	—	"F"
—	—	—	—	—	—	"D"
—	—	—	—	—	—	"D"
—	—	—	—	—	—	"F"
—	—	—	—	—	—	"D"

ток питания дешифратора $\mathcal{I}_D$ переключится в параллельный сверхпроводящий путь и переведет вентиль криотрона $K_{инд}$ в нормаль-

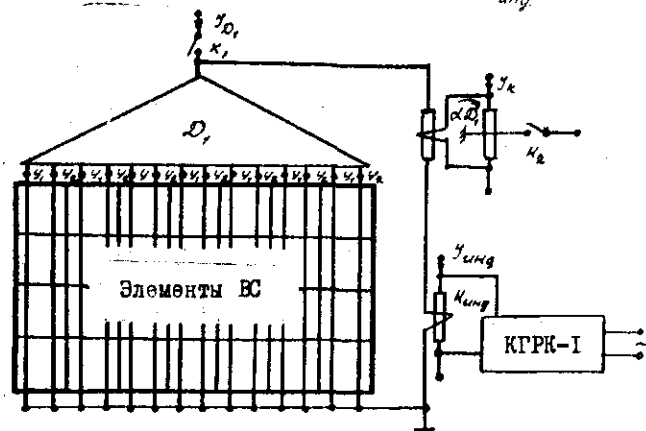


Рис. 6

ное состояние. При этом ток питания $\mathcal{I}_{инд}$ индикаторного криотрона переключится в КГРК-1, что, в свою очередь, приведет к появлению релаксационных колебаний на выходе генератора.

Таким образом, по наличию колебаний или отсутствию таковых на выходе генератора можно судить о неисправности или исправности дешифратора и настроечных шин.

б) Проверку горизонтальных настроечных шин, блока памяти и дешифратора $\mathcal{D}_2$ можно осуществить по схеме, приведенной на рис. 7. Проверка дешифратора $\mathcal{D}_2$ осуществляется с помощью КГРК-3. Перебирая все выходы дешифратора $\mathcal{D}_2$, по наличию (отсутствию) колебаний на выходе КГРК-3 можно определить неисправность (исправность) каждого выхода дешифратора.

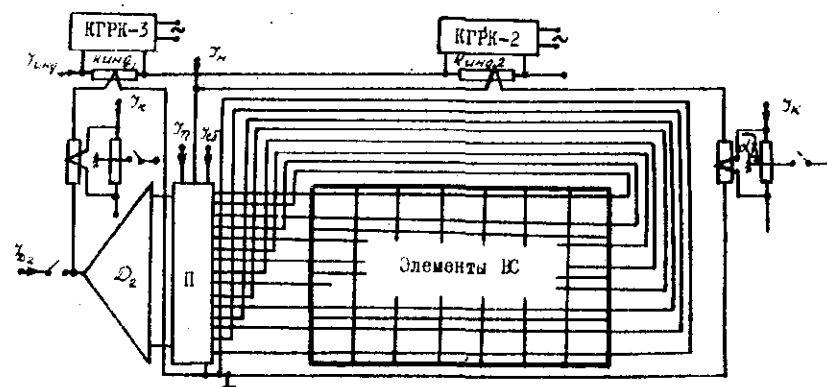


Рис. 7

Проверка блока памяти и горизонтальных настроечных шин ведется с помощью КГРК-2. Если после записи тока в контур β_1 (рис. 4) включить ток $\mathcal{I}_н$, то для него будет существовать один единственный сверхпроводящий путь - горизонтальная настроечная шина, включенная параллельно вентилю криотрона $K_{н2}$. Если после этого стереть ток в контуре α_{D2} (рис. 7), то вентиль криотрона $K_{инд2}$ останется в сверхпроводящем состоянии, и на выходе КГРК-2 не будет колебаний. При обрыве горизонтальной настроечной шины ток $\mathcal{I}_н$ переключится в параллельный сверхпроводящий путь и переведет вентиль криотрона $K_{инд2}$ в нормальное состояние, а это, в свою очередь, повлечет за собой появление коле-

баний на выходе КГРК-2. При отсутствии колебаний на выходе, что может явиться следствием неисправности β_i (вентиль криотрона K_i сверхпроводит), и при наличии обрыва в горизонтальной настроечной шине необходимо подать ток $\gamma_{ос}$, который переводит вентиль криотрона $K_{ос}$ в нормальное состояние. Если β_i исправен, то на выходе КГРК-2 появятся колебания, если колебаний нет, то это говорит о том, что в контур β_i не записался ток и вентиль криотрона K_{β_i} находится в сверхпроводящем состоянии. Однако даже наличие колебаний, когда подан ток $\gamma_{ос}$, может быть обусловлено обрывом вентиля K_{β_i} . Поэтому необходимо проделать следующую процедуру: включить ток питания дешифратора D_2 и стереть ток в контуре β_i . Если после этого на выходе генератора не будет колебаний, то ток в контуре β_i записывается, и в вентиле криотрона K_{β_i} нет обрыва. Однако если колебания на выходе генератора останутся, то можно утверждать, что в K_{β_i} есть "обрыв". Проверка контура β_i в этом случае возможна только после устранения "обрыва" вентиля K_{β_i} .

Б) Проверка элементов вычислительной среды. Проверить элементы можно по схеме, показанной на рис.8. С помощью дешифраторов D_4 и D_5 осуществляется подключение КГРК-4 к горизонтальным информационным ши-

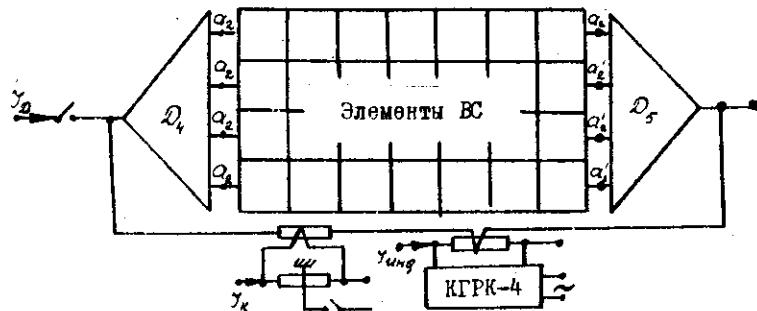


Рис. 8

нам для контроля выполнения элементами всех функций. Неисправности элементов обозначим следующим образом:

$H_{F,i}$ - элемент, выполняющий только функцию F ,

$H_{D,i}$ - элемент, выполняющий только функцию D ,

$H_{F,D}$ - элемент, выполняющий функции F и D ,
 $H_{D,P}$ - элемент, выполняющий функции D и P ,
 H - элемент, выполняющий все функции.

Выполнение элементом функции H_P является самым нежелательным, поскольку при появлении нескольких таких неисправностей в одном столбце часть элементов среды оказывается шунтирована сверхпроводящей ветвью, и поэтому не может быть проверена и использована при реализации схем в среде. Так, например, для случая, изображенного на рис.9, шунтированными оказываются элементы k -го и s -го столбцов, находящиеся между l и p строками.

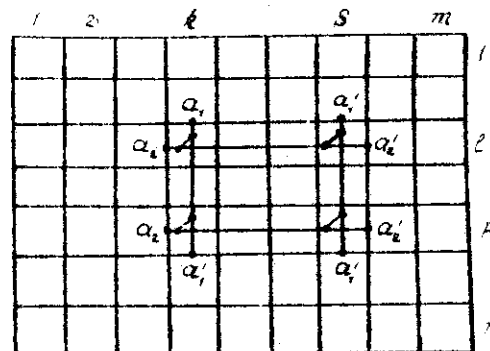


Рис. 9

В связи с этим построение теста в данной работе ограничено такими случаями, когда число элементов, выполняющих функции H_P , в столбце не больше одного.

Тест контроля среды. Введем некоторые обозначения:

n - число строк среды,

m - число столбцов среды,

f_i - выходная функция i -й строки,

$X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ - множество входных переменных,

$A_{i,j}$ - элемент вычислительной среды в i -й строке, j -ом столбце ($i = 1, 2, \dots, n$), ($j = 1, 2, \dots, m$).

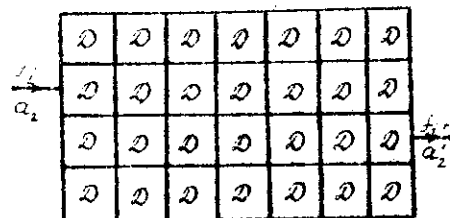


Рис. 10

Проверка количества элементов, выполняющих функцию H_p , в столбце. Производя настройку всех элементов вычислительной среды на "0" (рис. 10) и подавая на вход i -й строки ($i = 1, 2, \dots, n-1$) единичный сигнал y_i , по значениям выходной функции $f_{i,k}$ ($k = 1, 2, \dots, n-1$) строим функцию

$$\Phi = \bigvee_{i=1}^{n-1} F_i, \text{ где } F_i = \bigvee_{k=1}^{n-1} f_{i,k}.$$

При этом:

а) если $\Phi = 0$, то количество элементов, выполняющих функцию H_p , в столбце не более одного;

б) если $\Phi = 1$, то количество элементов, выполняющих функцию H_p , в столбце больше одного, и рассматриваемый тест не применим для контроля элементов вычислительной среды.

При выполнении условия $\Phi = 0$ определяются функции, выполняемые каждым элементом.

Проверка выполнения элементов и функции H_p . Все элементы настраиваются на "0" (рис. 11). На входы подается набор переменных $(x_1, x_2, \dots, x_m) = (1, 1, \dots, 1)$.

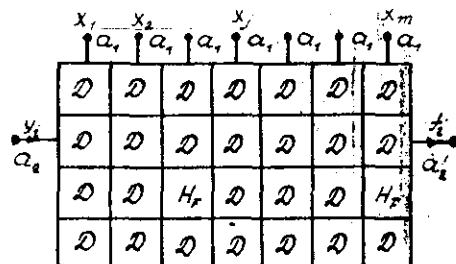


Рис. 11

случае находятся с помощью диагностического теста. Для нахождения элементов H_p на входы $(x_1, \dots, x_j, \dots, x_m)$ подается набор переменных $(0, \dots, 1, \dots, 0)$. При этом:

а) если $f_i = 1$, то элемент A_{ij} не выполняет функцию H_p

б) если $f_i = 0$, то элемент A_{ij} выполняет функцию H_p

При этом:

а) если $f_i = 0$, то ни один элемент строки не выполняет функцию H_p ,

б) если $f_i = 1$, то в строке имеются элементы, выполняющие функцию H_p .

Координаты элементов, выполняющих функцию H_p , в этом

2. Проверка выполнения элементами функции "P". Все элементы настраиваются на "0", а проверяемый элемент A_{ij} на "P" (рис. 12). На входы подается набор $(x_1, \dots, x_j, \dots, x_m) = (0, \dots, 1, \dots, 0)$.

При этом:

а) если $f_i = 0$, то элемент A_{ij} выполняет функцию "P".

б) если $f_i = 1$, то элемент A_{ij} не выполняет функцию "P".

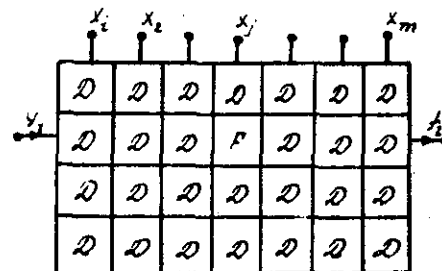


Рис. 12

3. Проверка наличия или отсутствия элементов H_p в строке. Элементы проверяемой i -й строки ($i = 1, 2, \dots, n$) настраиваются на "0", а все остальные строки на "P" (рис. 13). На вход любой строки, кроме i -й, подается единичный сигнал.

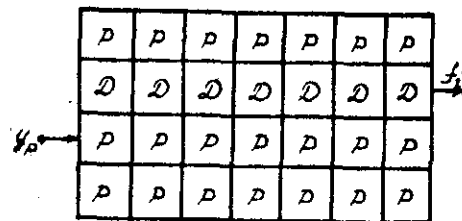


Рис. 13

При этом:

а) если $f_i = 0$, то в строке нет элементов, выполняющих функцию H_p ;

б) если $f_i = 1$, то в строке имеются элементы, выполняющие функцию H_p .

4. Проверка выполнения элементами функции "P" для строк, в которых не содержится элементов, выполняющих функцию H_p . Элементы проверяемой строки настраиваются на "0", а все остальные на "P". На вход любой строки, кроме проверяемой, подается единичный сигнал. Элементы проверяемой строки настраиваются поочередно на "P". При этом:

а) если $f_i = 1$, то элемент выполняет функцию "P";

б) если $f_i = 0$, то элемент не выполняет функцию P .
Строки, в которых все элементы выполняют функции P и D , в дальнейшем будем называть "базовыми".

5. Тест для нахождения элементов, выполняющих функцию H_D , строится с использованием "базовой" строки. Все элементы настраиваются на D . Единичный сигнал подается на вход "базовой" строки, а по значению выходной функции проверяемой строки при перестройке элементов "базовой" на P находятся координаты элементов, выполняющих функцию H_D в проверяемой строке (рис. 14), причем:

y	D	D	D	D	D	H_D	D
	D	D	D	D	D	D	D
	D	H_D	D	H_D	D	D	D
	D	D	H_D	D	D	D	D
							f_i

Рис. 14

а) если при настройке элемента "базовой" строки на P $f_i = 1$, то элемент проверяемой строки выполняет функцию H_D ;
б) если $f_i = 0$, то элемент проверяемой строки не выполняет функцию H_D .

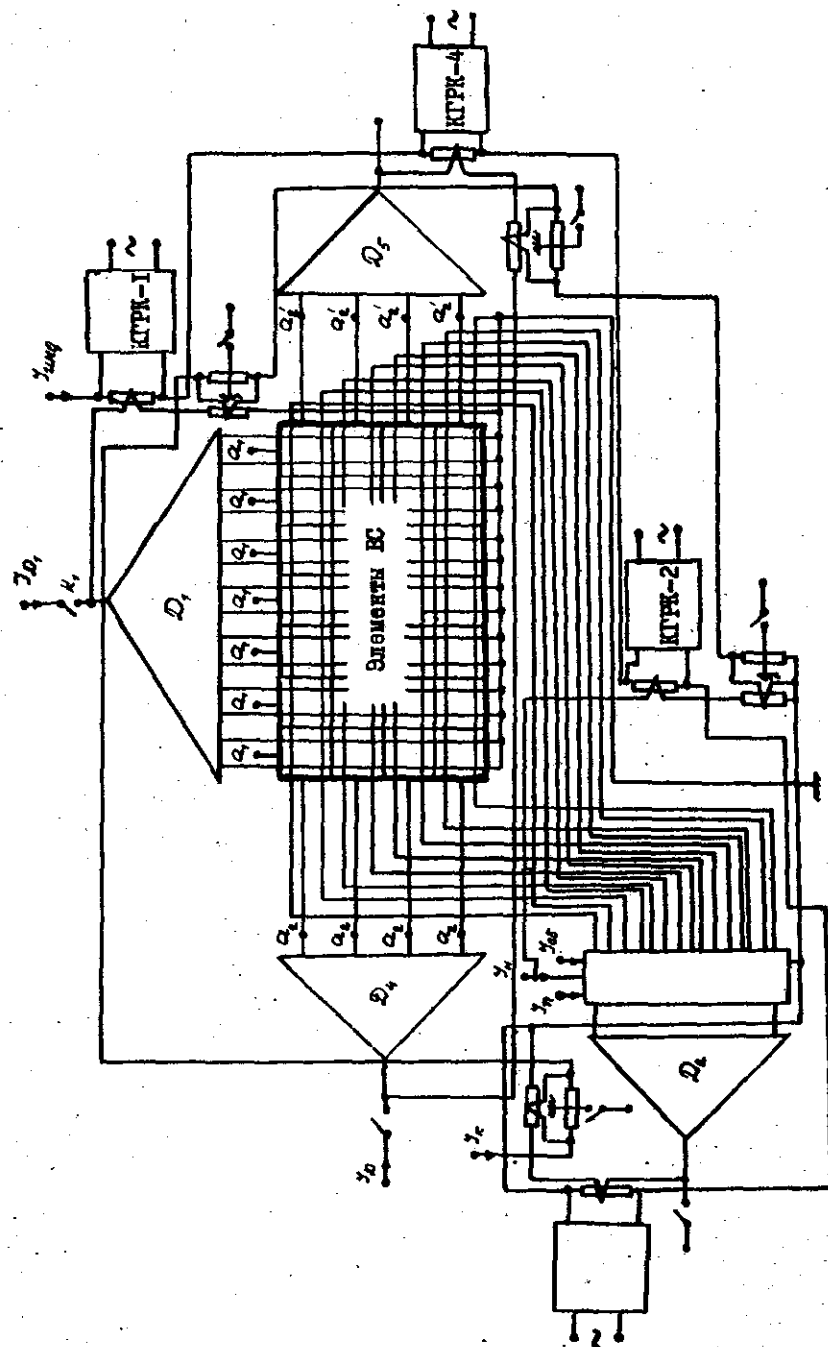
6. Проверка выполнения элементами функции P для строк, в которых есть элементы, выполняющие функцию H_D . После нахождения элементов, выполняющих функцию H_D в проверяемой строке, соответствующие элементы "базовой" строки настраиваются на D , а остальные элементы на P (рис. 15). На вход "базовой" строки подается единичный сигнал. Элементы проверяемой строки поочередно настраиваются на P .

y	D	D	D	D	D	H_D	D
	P	D	D	D	P	P	D
	D	H_D	D	H_D	D	D	D
	D	D	H_D	D	D	D	D
							f_i

Рис. 15

При этом

а) если $f_i = 1$, то элемент выполняет функцию D ;



б) если $f_i = 0$, то элемент не выполняет функции P .

Полная блок-схема для контроля и диагностики неисправностей устройств настройки и элементов вычислительной среды приведена на рис. 16.

Общее число элементарных контрольно-диагностических тестов $B_{k,q}$, необходимое для проверки и диагностики неисправностей схем управления и элементов вычислительной среды, выражается следующей зависимостью:

$$B_{k,q} = m(2 + \nu + \mu) + \frac{\pi}{2}(19 + \pi + 4m) - \omega,$$

где ν и μ - соответственно число строк среды, содержащих элементы, выполняющие функции H_F и H_D ; ω - число элементов среды в строке, выполняющих функции H_D .

При $m = n$ верхняя и нижняя оценки числа элементарных контрольно-диагностических тестов от числа неисправностей имеют следующий вид:

$$\frac{5N + 23\sqrt{N}}{2} \leq B_{k,q} \leq \frac{9N + 21\sqrt{N}}{2},$$

где N - число элементов вычислительной среды.

Л и т е р а т у р а

1. Я.С. КАН, В.А. РАХУБОВСКИЙ. Криотронный генератор релаксационных колебаний с управляемой частотой. - Приборы и техника эксперимента, 1966, № 1.
2. Э.В. ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука" СО, 1967.

Поступила в редакцию
10/1 - 1970 г.