

КРИОТРОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ С ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕЙ ЯЧЕЙКОЙ

В.Ф. Гурко

В настоящее время для реализации вычислительной среды на криотронах предложен ряд схем универсальных элементов [1,2,3]. Однако ни одна из этих схем до сих пор не была экспериментально испытана. Кроме того, некоторые из предложенных схем имеют принципиальные ограничения. В настоящей работе предлагается усовершенствовать одну из наиболее общих схем [2] универсального элемента с целью устранения ветвления тока и дополнительного выделения тепла, а также приводятся результаты испытаний универсального элемента в жидком гелии.

Блок-схема универсального элемента вычислительной среды, состоящего из функционального и соединительного элементов [1], представлена на рис. 1.

Соединительный элемент (рис.2) состоит из трех соединительных ветвей, каждая из которых либо пропускает сигнал, либо нет. Это обеспечивается записью незатухающего тока $I_k > I_{cc}$ в настраиваемые контуры α_2 и α_4 . Таблица I характеризует состояние всех элементов схемы для каждой соединительной функции.

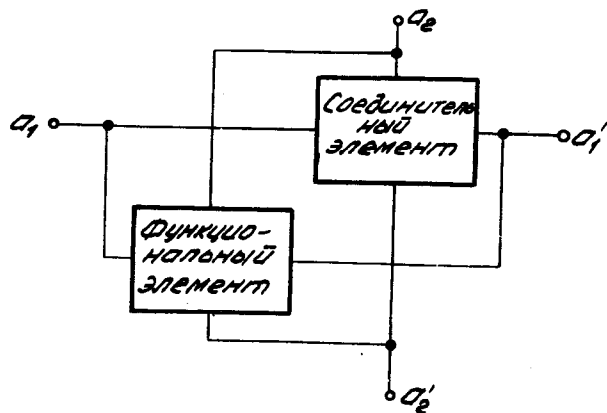


Рис. 1.

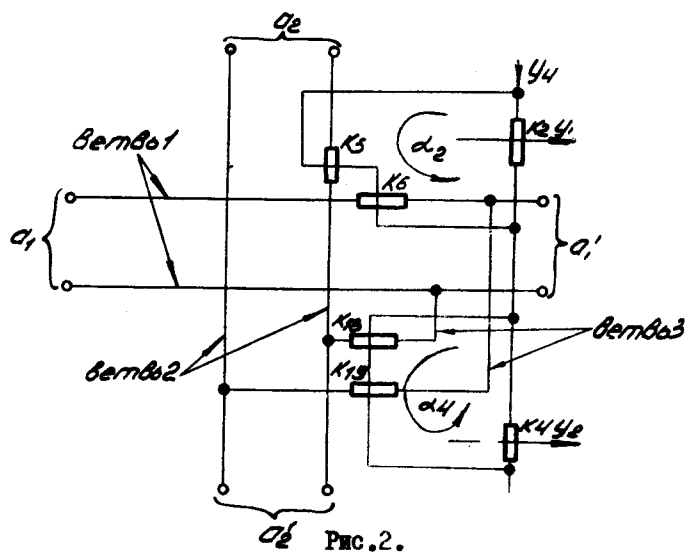


Рис. 2.

Соединительные функции	Сопротивление вентиля				Ток в контуре	
	K_5	K_6	K_{18}	K_{19}	α_2	α_4
Крест с точкой	0	0	0	0	0	0
Крест без точки	0	0	R_6	R_6	0	I_K
Нулевое соединение	R_6	R_6	R_6	R_6	I_K	I_K

Схема функционального элемента изображена на рис. 3. Ток питания I_0 может проходить по одной из двух параллельных ветвей: а) "логической ветви" (вентили криотронов K_9 , K_{10}) и б) "прямой ветви" (вентиль криотрона K_{16}). Поскольку индуктивность "логической ветви" больше индуктивности "прямой ветви", то после включения ток питания I_0 будет течь в "прямой ветви". Так как элемент выполняет функцию $f(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2$, то в случае, когда на входы функционального элемента поданы "0" *) на выходе "логической ветви" должна быть "1". Это достигается подачей рабочего (тактового) импульса, который переведет вентиль криотрона K_{16} в нормальное состояние, и ток питания I_0 полностью переключится в "логическую ветвь". В остальных случаях I_0 будет разделяться и на выходе функционального элемента, в "логической ветви", будет либо $1/2 I_0$, либо $1/3 I_0$.

Поскольку соединительный элемент не может выполнять функцию разветвления сигнала, то эту роль должен брать на себя функциональный элемент. Для этого он имеет два выхода a_1' и a_2' , так что выходной ток может воздействовать на два других элемента, которые оказываются последовательно включенными в "логическую ветвь". Если при этом необходимо использовать только один выход, другой выход должен быть замкнут на обмотку криотрона соседнего функционального элемента (короткое замыкание входов). Чтобы этот элемент не срабатывал от пришедшего на его вход сигнала, в схеме предусмотрен контур настройки α_2 .

Кроме этого, функциональный элемент должен быть снабжен

*) "0" будем считать ток в сетке, который не разрушает сверхпроводимости вентиля при наличии тока в нем, а "1" — ток, переводящий вентиль криотрона в нормальное состояние.

еще одним контуром настройки α_1 , который бы закрывал путь для попадания тока на его входы в тех случаях, когда универсальный элемент должен выполнять соединительные функции. Для этого в каждую входную ветвь включено по криотрону K_7, K_8 , которые возбуждаются незатухающим током в контуре α_1 . Параметры схемы (рис.3), соответствующие разным состояниям функционального элемента сведены в таблицу П.

Таблица П

Выполняемая функция	Сопротивление вентиля			Ток в контуре	
	K_7	K_8	K_{17}	α_1	α_3
Логическая $\overline{X_1 \vee X_2}$	0	0	R_B	0	I_K
Короткое замыкание входов	0	0	0	0	0

Используя параметры проволочных криотронов, можно оценить диапазон изменения тока питания I_0 для данной температуры, при котором выполняется логическая функция. Это позволит сделать вывод о допусках на другие параметры криотрона.

Ток I_0 не должен превышать такой величины, чтобы при подаче на вход элемента $\frac{I_0}{2}$ криотроны в логической ветви при $I_g = I_0$ оставались в сверхпроводящем состоянии

$$\frac{1}{2} I_0 < I_{cc} \quad \text{при } I_g = I_0 \quad (I)$$

Зависимость критического тока вентиля от сеточного (рис.4) можно аппроксимировать прямой

$$I_g = \kappa (I_{cc}^0 - I_{cc}), \quad (2)$$

где $\kappa = \left| \frac{dI_g}{dI_{cc}} \right|$ - дифференциальный коэффициент усиления криотрона в рабочей части характеристики.

Подставляя (1) в (2), получаем:

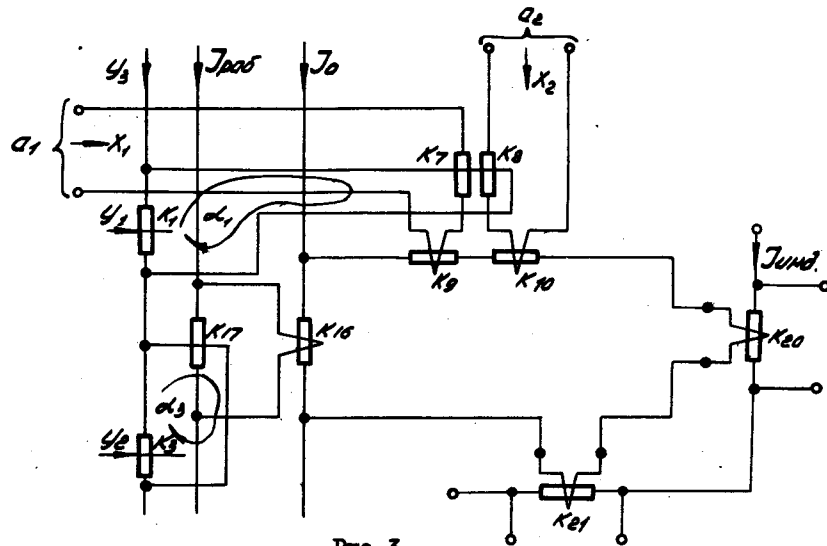


Рис.3.

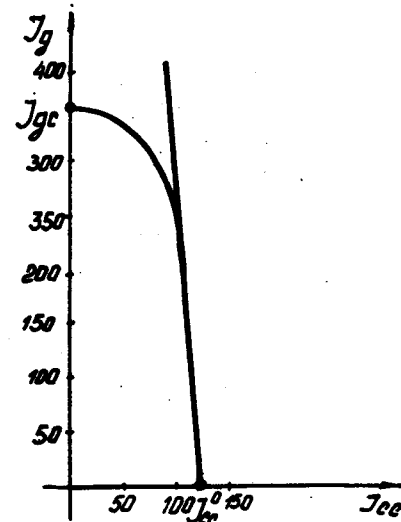


Рис.4.

$$I_0 < \frac{2\kappa}{2+\kappa} I_{cc}^0 \quad (3)$$

С другой стороны, ток I_0 должен быть больше такой величины, чтобы при подаче на вход элемента I_0 криотроны в логической ветви при $I_g = \frac{1}{3} I_0$ оставались бы в нормальном состоянии

$$I_0 > I_{cc} \quad \text{при } I_g = \frac{1}{3} I_0 \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2), получаем:

$$I_0 > \frac{3\kappa}{1+3\kappa} I_{cc}^0 \quad (5)$$

Используя данные таблицы III из (3) и (5), при $\kappa \approx 10$ находим

$$120 < I_0 < 207 \text{ (ма)}.$$

Следовательно, деление тока I_0 накладывает ограничение на диапазон изменения тока питания I_0 . Устранение этого ограничения приводит к возможности использовать криотроны с $G < 2$. Для пленочных криотронов это очень важно, так как это уменьшает отношение ширины $X = \frac{W}{w}$, где W - ширина вен-

тиля, w - ширина сетки, и делает схему более компактной [4]. Кроме того, деление тока I_0 приводит к дополнительному выделению тепла. Этих недостатков можно избежать, если в цепи рабочего импульса включить переключающую ячейку, показанную на рис. 5. Работа такой ячейки сводится к следующему. Рабочий импульс воздействует на криотрон в "прямой ветви" только в том случае, когда $X_1 = X_2 = 0$, если же $X_1 = I$ или $X_2 = I$, то вентиль криотрона в "прямой ветви" останется сверхпроводящим. Это достигается тем, что "I" на входе функционального элемента воздействует не только на криотроны в "логической ветви", но и на криотроны в "ветви 2" переключающей ячейки.

Из анализа ячейки следует, что для её работы необходимо выполнение следующих условий:

$$L_1 > L_2 \text{ и } R_2 > R_1,$$

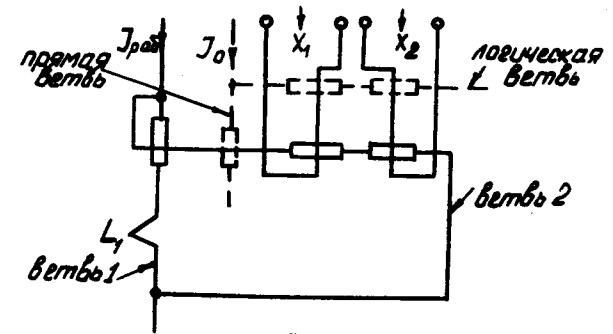


Рис. 5.

где L_1 , L_2 и R_1 , R_2 - соответственно индуктивность и сопротивление 1 и 2 ветвей.

Схема функционального элемента с переключающей ячейкой в цепи рабочего импульса показана на рис. 6.

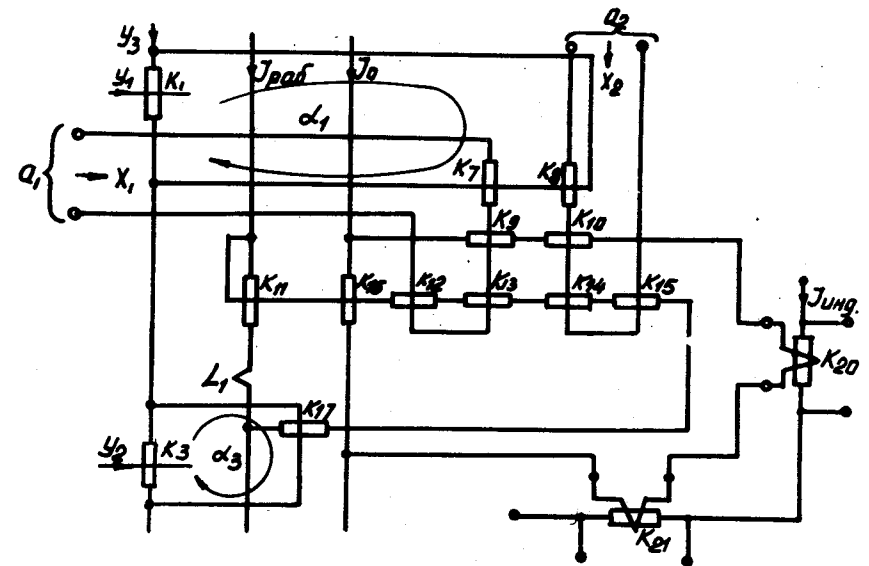


Рис. 6.

Эксперимент состоял в проверке элемента на выполнение всех функций и определении диапазона изменения тока питания, I_0 , при котором элемент оставался работоспособным. Ток питания, рабочий импульс и входные сигналы подводились от источ-

ников постоянного тока и управлялись тумблерами *).

Исследуемая схема собиралась на проволочных криотронах с использованием печатного монтажа. В таблице III приведены параметры проволочных криотронов.

Таблица III

R_B ом	$L_{сгн}$	I_{yc} ма	I_{cc} ма	ΔT
10^{-4}	10^{-8}	350	125	0,08

Здесь R_B - сопротивление вентиля криотрона, $L_{сгн}$ - индуктивность сетки, I_{yc} - критический ток вентиля, I_{cc} - критический ток сетки, $\Delta T = T_c - T$ - разность между критической температурой материала вентиля и рабочей температурой ванны.

Наличие сигнала на выходе определялось по напряжению на индикаторных криотронах X_{20} , X_{21} (рис. 3) и X_{20} , X_{21} (рис. 6). При этом величина тока $I_{инг}$ устанавливалась либо I_0 , либо $\frac{1}{3} I_0$.

Для настройки элемента среды на нужное состояние в настроечные шины Y_3 , Y_4 , и Y_1 , Y_2 подавался ток соответственно 300 ма и 220 ма.

Экспериментальная проверка работы переключающей ячейки (рис. 5) показала, что при $L_1 = L_2 = 2L_c$ и $R_1 = R_B$, а $R_2 = 2R_B$ ячейка работала при изменении тока $I_{раб}$ от 210 ма до 350 ма.

Данные экспериментальной проверки функциональных элементов с ячейкой и без ячейки в цепи рабочего импульса сведены в таблицу IV.

Таблица IV.

Измеряемая величина	Тип функционального элемента	
	без ячейки	с ячейкой
I_0 (ма)	120 - 200	120 - 350
$I_{раб}$ (ма)	220 - 340	210 - 350

Экспериментальная проверка показала хорошее совпадение полученных данных с расчетными.

Применение переключающей ячейки (рис. 5), кроме устранения дополнительного выделения тепла, расширило допуски на изменение тока питания I_0 от I_{cc} до I_{yc} , что позволит существенно увеличить технологические допуски на другие параметры как проволочных, так и тонкопленочных криотронов.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1967 г.
2. О.Л. Бандман. Реализация элемента вычислительной среды на криотронах. Труды симпозиума по вычислительным системам и средам. Новосибирск, 1967 г.
3. О.Л. Бандман. Криотронный элемент вычислительной среды, построенный по принципу "двойной логики". Данный сборник, стр. 121-129.
4. Дж. Бремер. Сверхпроводящие устройства. М., 1964 г.

* Испытания в жидком гелии выполнялись в Харьковском физико-техническом институте при консультации Я.С. Кана и Е.И. Крутько.