

КРИОТРОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

О.А. Бандман, В.Ф. Гурко, Н.И. Назаров,

Б.М. Фомель

(Новосибирск)

Хотя вопрос о том, какие же физические элементы следует считать наиболее перспективными для построения вычислительной среды ещё далёк от разрешения, уже сейчас ясно, что криотроны являются сильными конкурентами гибридным и твердым схемам, электростатическим реле и др. [1]. В связи с этим наряду с самой тяжелой задачей - освоением технологии - необходима разработка схем криотронных элементов вычислительной среды и выявления их логических и физических возможностей.

Настоящий доклад имеет целью показать, какие схемные решения предложены в ОВТ ИМ СО АН, сравнить некоторые варианты схем, обосновать выбор одной из схем для изготовления первых макетов и обсудить некоторые задачи, связанные с созданием вычислительной среды большого объема.

Для сравнения схем криотронных элементов вычислительной среды можно ввести следующие основные критерии их оценок.

1. Сложность схемы элемента (T_3), которую достаточно правильно можно характеризовать количеством криотронов в схеме. Эта величина почти целиком определяет стоимость элемента, поскольку ей пропорциональна площадь, занимаемая элементом на плате, число паек (в случае проволочного исполнения), количество материалов и затраченного на изготовление труда, и в значительной степени определяет надёжность.

2. Устойчивость схемы по отношению к разбросу параметров криотронов. Поскольку в настоящих условиях возможна экспериментальная проверка этой величины только по отношению к изменению тока питания, будем определять эту величину $S = \frac{\Delta I_0}{I_{cc}}$ (ΔI_0 - диапазон изменения тока питания, при котором схема остается работоспособной, I_{cc} - критический ток управления криотрона). Поскольку $\frac{\Delta I_0}{I_{cc}} = \Delta G$ (ΔG - допустимый диапазон изменения коэффициента усиления криотрона), величину S можно считать характеризующей устойчивость работы схемы элемента по отношению к основному параметру криотрона G .

3. Потребление мощности. Здесь, очевидно, следует стремиться к тому, чтобы потребление мощности в установившемся режиме всегда было равно нулю. Это достигается исключением таких ситуаций, когда в схеме нет сверхпроводящего пути для тока.

Ограничимся рассмотрением элементов совершенно однородных сред, в которых каждый элемент может выполнять любую функцию из полного функционально-соединительного набора [2]. Реализация соединительных функций в элементах всех типов выполняется криотронными триконами [1], поэтому будем подразделять элементы по принципу организации их функциональной части.

1 тип элементов. Элемент выполняет универсальную логическую функцию с перебросом тока при помощи рабочих импульсов (функциональная часть элемента с выполнением $f(x_1, x_2) = x_1 \sqrt{x_2}$ показана на рис. 1). Сложность элемента (с учётом настроечных

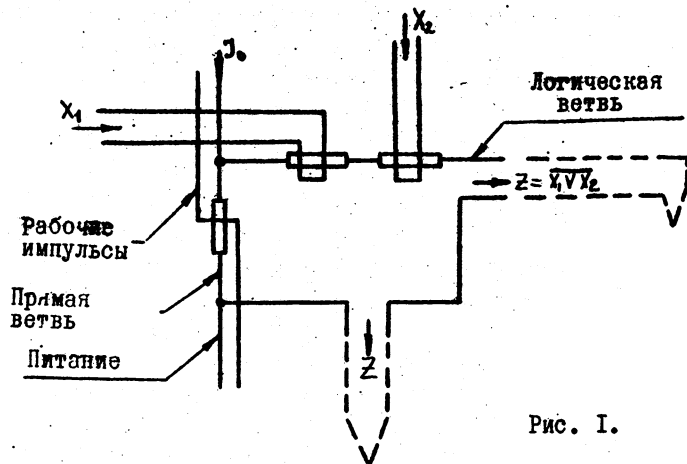


Рис. 1.

и соединительных цепей) $L_3 = 14$ криотронов. Рабочие импульсы необходимы для того, чтобы возвращать ток питания в логическую ветвь элемента после каждого срабатывания. Длительность рабочих импульсов должна перекрывать время переключения тока, и поэтому неизбежны промежутки времени, в течение которых обе ветви и "логическая", и "прямая" (рис. 1) обладают сопротивлением. Это приводит к снижению величины S . Анализ и экспериментальная проверка показали [3], что в элементах этого типа

$$S = \frac{2k}{2+k} - \frac{3k}{1+3k} = \frac{k(3k-4)}{(k+2)(3k+1)},$$

что для проволочных криотронов ($k \approx 10$) составляет $S = 0,7$ (k — дифференциальный коэффициент усиления криотронов).

Кроме того, наличие установившегося тока в ветвях с сопротивлением вызывает дополнительное выделение мощности.

Чтобы улучшить последние два показателя в элемент, была введена переключающая ячейка (функциональная часть элемента с переключающей ячейкой показана на рис. 2) [3]. При этом слож-

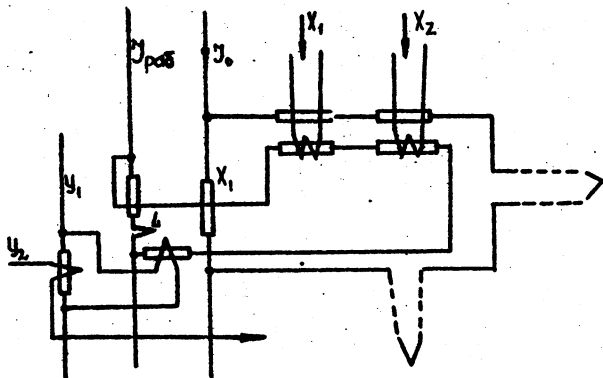


Рис. 2.

ность элемента увеличилась на 3 криотрона, а S стало равно максимально-возможной величине

$$S_{\max} = G - \frac{k}{k+1},$$

что для схемы на проволочных криотронах ($G \approx 3,5$) составит $S_{\max} \approx 2,6$.

Потребление мощности в установившемся режиме в таком элементе не происходит, так как рабочий импульс воздействует на криотрон в прямой ветви только в случае, если $x_1 = x_2 = 0$.

Организация схем задержки в среде с элементами I-го типа возможна только замыканием друг на друга пары элементов, настроенных на выполнение логической функции (рис. 3). Динамика

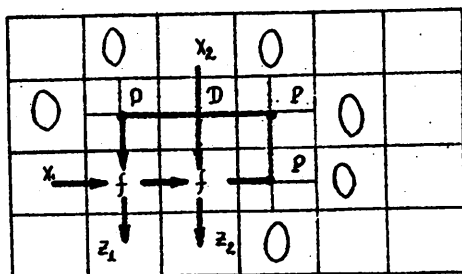


Рис. 3.

работы такого триггера, собранного в вычислительной среде, подробно исследована в [4]. Для реализации триггера требуется по меньшей мере 6 элементов вычислительной среды, поэтому при реализации в среде устройства с большим объемом памяти получается очень большая избыточность. В связи с этим желательно иметь схемы элементов, в которых имеется память.

II тип элементов. Элемент выполняет какую-либо универсальную логическую функцию и её отрицание. При этом используется принцип "двойной логики" [5].

Функциональная часть элемента показана на рис. 4. На каждый из входов подается как переменная, так и её отрицание, причём переменные x_1 и x_2 воздействуют на криотроны в правой триггерной ветви, а их отрицания \bar{x}_1 и \bar{x}_2 — на криотроны в левой триггерной ветви. Ток, соответствующий первой переменной (верхний вход на рис. 4), переключается в одну из ветвей нижнего выхода в зависимости от значения $z = x_1 \vee x_2$, а ток, соответствующий x_2 (или \bar{x}_2), переключается в одну из ветвей правого выхода. После исчезновения переменных на входах ток I_0 остается в той триггерной ветви, в которую он был переброшен ранее, и это состояние сохраняется до прихода следующих переменных. Таким образом реализуется запоминание. Сложность такого элемента (с учетом соединительной и настроеч-

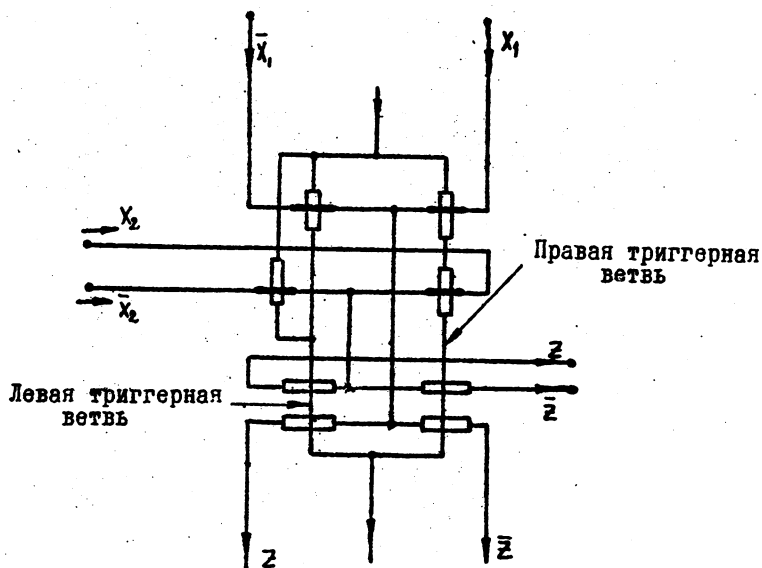


Рис. 4.

ной части) равна 19 криотронам. Расхода мощности в установившемся режиме нет. $S = S_{\max}$.

III тип элемента. Функциональная часть элемента максимально проста (рис.5). Она состоит из одного криотрона K_1 , вы-

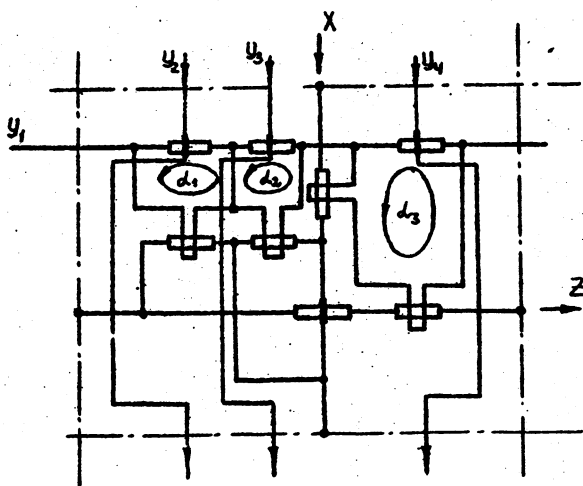


Рис. 5.

полняющего релейно-контактную функцию. Схема элемента совместно с соединительной и настроечной частью изображена на рис. 5. Сложность элемента с учетом настроечной и соединительной части равна 8. Вентили криотронов K_2 , K_3 , K_4 и K_5 находятся в соединительных ветвях элемента, а их управляющие обмотки образуют с вентилями K_6 , K_7 и K_8 настроечные контуры α_1 , α_2 и α_3 . При записи незатухающего тока в настроечные контуры разрушается сверхпроводимость в соответствующей ему ветви элемента, что эквивалентно полному её размыканию. Функции, выполняемые элементом, и соответствующие им настроечные контуры приведены в таблице.

Реализация логических функций в среде с такими элементами может выполняться при помощи методики, описанной в [6], которая позволяет получать программу настройки среды непосредственно по заданной в виде таблицы истинности или нормальной формы логической функции.

Если ограничиться сравнением элементов по приведенным выше трём критериям, то предпочтение следует отдать элементам третьего типа, которые обладают вдвое меньшей сложностью и имеют наименьшую возможную чувствительность к изменениям параметров (S_{\max}).

Кроме вопросов, затрагивающих работу каждого элемента в отдельности, есть еще ряд задач, связанных с изготовлением и функционированием вычислительной среды в целом. В основном это общие проблемы создания больших вычислительных устройств из микроминиатюрных элементов, из которых главными можно считать следующие: 1) выполнение надёжных межпластных соединений и по возможности уменьшения их количества, 2) уменьшение выделяемой мощности и обеспечение условий её отвода. Первая проблема для криотронных устройств стоит более остро, чем для других микроминиатюрных элементов, поскольку требуются сверхпроводящие межпластные соединения. Отсюда более остро встает требование уменьшения количества межпластных соединений путём напыления на гибкую ленту или путём многослойного напыления.

Вторая проблема в криотронных схемах вследствие ничтожно малой выделяемой мощности возникает только при рассмотрении вопроса напыления на одну подложку целого ряда схемных слоёв, разделённых изоляционными и экранирующими слоями. В [7] показано, что с точки зрения теплоотвода такое многослойное напыление вполне допустимо.

Т а б л и ц а

Таблица состояний элемента

Реализуемая функция	Возбужденные настроечные контуры	Возбужденные криотроны	Шины изстройки
"P" - крест с точкой	—	—	—
"D" - крест без точки	α	K_2	Y_0, Y_1
"O" - размыкание	α_1, α_3	K_2, K_4, K_5	Y_0, Y_1, Y_3
Поворот	α_3	K_4, K_5	Y_0, Y_3
$Z = \bar{x}$	α_1, α_2	K_1, K_3	Y_0, Y_1, Y_2

Кроме перечисленных существуют еще специфические для криотронной вычислительной среды проблемы, такие как: 1) число выводов из криостата, 2) усиление сигналов на выходе. Первая задача может быть решена применением дешифраторов настроечных шин (как горизонтальных, так и вертикальных). Кроме того, существует мнение [8], что при применении ступенчатого (в 3 этапа) охлаждения выводов целесообразнее все шины вывести из криостата (до 8000 проводов для памяти 10^8 бит) и производить дешифрацию при комнатной температуре.

Усиление сигналов на выходе возможно двумя путями: 1) установкой на выходе схемы криотронных генераторов [9], 2) использованием в качестве индикационных элементов продольных криотронов [10]. В том и другом случае возможно получить сигналы в виде импульсов напряжения до 100 мВ.

Из приведенных фактов можно сделать вывод о том, что принципиальных препятствий для реализации вычислительной среды на криотронах нет, а основные трудности носят чисто технологический характер.

Л и т е р а т у р а

1. О.Л. Бандман. Применение криотронов для реализации элементов вычислительной среды. - Вычислительные системы, Труды симпозиума. Новосибирск, 1966.
2. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, 1966.
3. В.Ф. Гурко. Криотронный элемент вычислительной среды с переключающей ячейкой. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, вып. 26.
4. Б.М. Фомель. Динамика триггера в криотронной вычислительной среде. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, вып. 26.
5. О.Л. Бандман. Криотронный элемент вычислительной среды, построенный по принципу двойной логики. - Вычислительные системы. Новосибирск, 1967, вып. 26.
6. О.Л. Бандман. Реализация автоматов в криотронной вычислительной среде. Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, вып. 3, Программирование на вычислительных средах. Новосибирск, 1968 г.

7. Н.И. Назаров. Теплоотвод в многослойных сверхпроводящих устройствах.-Вычислительные системы, вып. 26. Новосибирск, 1967.
8. Р.А. Гейндж. Принципы построения быстродействующих СВ большой емкости.-Электроника, 1967, т. 40, № 8, стр. 28.
9. Я.С. Кан, В.А. Рахубовский. Криотронный генератор релаксационных колебаний с управляемой частотой.-Приборы и техника эксперимента № 1, 1966.
10. A.B.Brenneman. The in-line cryotron. Proc.IEEE, 1965, vol. 51, N 3.