

ПРИМЕНЕНИЕ КРИОТРОНОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

О.Л. Бандман

(Новосибирск)

В настоящее время уже имеется опыт работы с сверхпроводящими элементами, который позволяет судить о целесообразности применения их для реализации элементов вычислительной среды. Из всех существующих сверхпроводящих элементов наиболее подходящим кажется обычный поперечный криотрон (криотрон со скрещенными пленками), который удовлетворяет следующим требованиям, предъявляемым к элементам вычислительной среды.

1. Возможностью микроминиатюрного исполнения и технологичностью. В настоящее время сверхпроводящие пленки напыляются в вакууме через трафареты. Этот метод позволяет разместить 10^6 бит в одном кубическом футае [1]. Предложенный в 1964г. в США фотолитографический метод позволяет увеличить эту цифру на порядок [2].

2. Дешевизной каждого элемента. Поскольку криогенная установка составляет значительную долю стоимости устройства, цена одного бита резко падает с увеличением объема. Считают [1], что при объемах памяти больших, чем 10^7 бит, сверхпроводящие ЗУ будут самыми дешевыми.

3. Возможностью выполнения всех функций (как запоминающих, так и логических) при помощи элементов только одного типа — криотронов.

4. Возможностью хранения информации в виде незатухающих токов как угодно долго без какого-либо питания извне.

5. Возможностью использования двухсторонней идеальной проводимости для выполнения соединительных функций.

Поперечный криотрон представляет собой систему из двух пересекающихся под прямым углом изолированных друг от друга пленок. При пропускании тока по верхней управляющей пленке создается магнитное поле, под действием которого нижняя пленка-вентиль — теряет сверхпроводимость. При этом управляющая пленка остается сверхпроводящей, так как она выполнена из свинца, и ток $I_{с\text{кр}}$, при котором разрушается её сверхпроводимость, больше, чем ток, разрушающий сверхпроводимость вентиля $I_{кр}$, выполненного из олова. Управляющий ток I_0 выбирают несколько меньшим $I_{с\text{кр}}$. Его отношение к $I_{кр}$ называется эффективным коэффициентом усиления:

$$G = \frac{I_0}{I_{кр}} > 1.$$

Чтобы реализовать полный набор соединительных функций [3] (соединения типа "крест с точкой", "крест без точки" и нулевое) требуются по меньшей мере 3 соединительные ветви (рис.1), представляющие собой триггерные контакты.

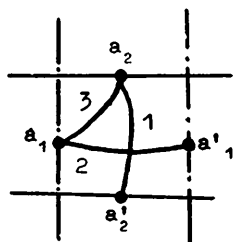


Рис. 1.

Для реализации триггерного контакта требуется всего лишь 2 криотрона (рис.2). Контакт открыт, когда в контуре нет тока и полюсы a и a' соединены сверхпроводящей пленкой. Контакт закрыт, если в контур α записан незатухающий ток i , следовательно, вентили криотронов K_1 и K_2 имеют сопротивление. Запись незатухающего тока производится подачей импульсов тока I'_n и I''_n по двум настроенным ши-

нам: горизонтальной и вертикальной. При этом вентиль криотрона K_2 возбуждается, и ток I'_n проходит по управляющим полоскам криотронов K_1 и K_2 . Такое положение сохраняется даже после того, как ток I''_n прерывается и вентиль K_2 возвращается в сверхпроводящее состояние. Если теперь отключить ток I'_n , то энергия, запасенная в магнитном поле контура α , остается в сверхпроводящем контуре в виде незатухающего тока i_α .

Поскольку в соединительном элементе две соединительные ветви (1 и 2 на рис.1) всегда должны находиться в одном и том же состоянии, достаточно иметь только два контура для записи незатухающих токов, чтобы реализовать все три соединительные функции (рис.3).

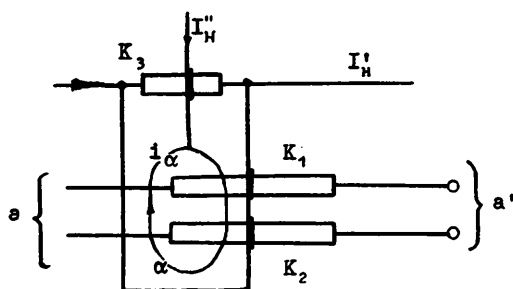


Рис. 2.

Следует отметить, что соединение "крест с точкой" можно использовать только до поворота пути, но не для разветвления, поскольку разделение тока даже на две части уже делает невозможным переключение криотронов на выходе соединительной цепи.

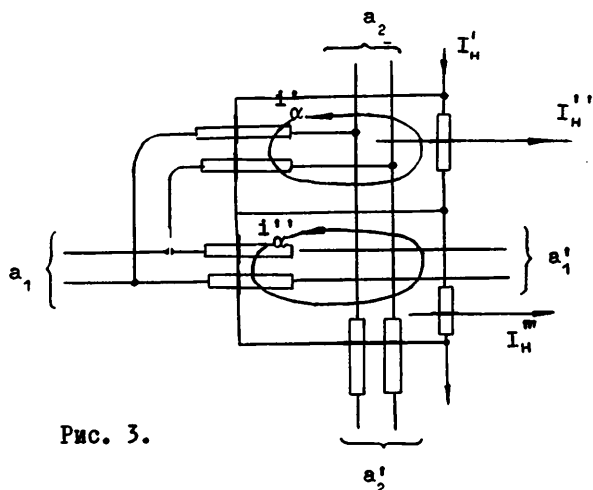


Рис. 3.

В качестве функционального элемента можно использовать схемы, выполняющие одну из универсальных логических функций: $\overline{x_1} \& \overline{x_2}$, $\overline{x_1} \vee \overline{x_2}$. Как и во всех криотронных логических схемах, здесь должен быть предусмотрен параллельный сверхпроводящий путь для тока через вентиль "возвращающего" криотрона K_3 , управляемого внешними "рабочими" импульсами (рис.4). Поскольку разветвление путей распространения сигнала в соединительных цепях невозможно, эту функцию должен взять на себя функциональный элемент. Это несколько усложняет его схему, так как чтобы обеспечить независимость обоих выходов, необходимо иметь по сути дела 2 элемента, объединенных по входам (рис.4).

Для организации элемента памяти в вычислительной среде с функциональными элементами такого типа два функциональных эле-

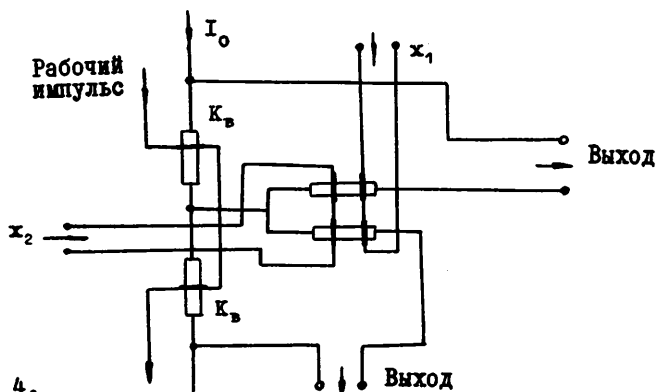


Рис. 4.

мента замыкаются друг на друга, образуя триггер.

Можно привести в качестве примера другую схему функционального элемента, сочетающую в себе возможность запоминания информации и выполнение универсальной логической функции. Такая схема изображена на рис.5. В управляющих ветвях криотронов K_2 и K_3 ток будет проходить только при наличии обоих

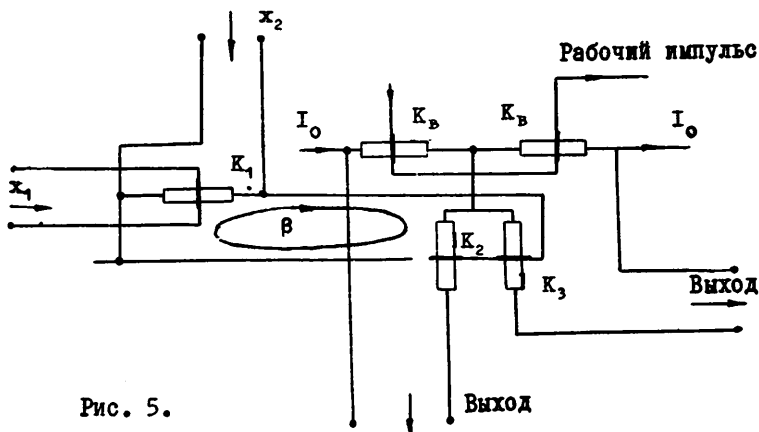


Рис. 5.

сигналов на входах (x_1 & x_2). Этот ток возбуждает вентили этих криотронов, что дает на выходах элемента $\overline{x_1 \& x_2}$. Чтобы использовать элемент как ячейку памяти, надо подать на оба входа "единицы" и обеспечить такой режим, чтобы к моменту прекращения тока в x_2 вентиль K_1 уже был сверхпроводящим. Тогда в контуре β запишется незатухающий ток, который будет циркулировать в нем до тех пор, пока сверхпроводимость контура не бу-

дет разрушена током на входе x_1 .

Расчет показывает, что в пленочных элементах индуктивность соединительной ветви всего лишь в 5-10 раз меньше, чем индуктивность управляющей полоски. Это значит, что при длине соединительных путей в 5-10 элементов время переключения увеличивается вдвое. Это позволяет настраивать элемент (рис.5) на работу в качестве либо ячейки памяти, либо логического элемента только подбором длины соединительных линий.

Очевидно при таких соотношениях индуктивностей соединений и функциональных элементов, в процессе настройки среды на реализацию какого-либо автомата следует учитывать длину путей распространения сигналов по соединительным цепям.

Возможны несколько вариантов соединения функциональных и соединительных ячеек для образования универсального элемента вычислительной среды. Например, вариант элемента, обладающего четырьмя состояниями настройки (тремя соединительными и одним функциональным (рис.6) состоит из 14-15 криотронов. При ширине вентилля 0,2 мм он занимает площадь 2,2 мм². В другом варианте функциональный элемент окружается восемью соединительными (рис. 7).

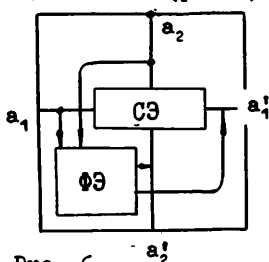


Рис. 6.

СЭ—соединительный элемент

ФЭ—функциональный элемент

среде второго типа занято меньше криотронов и меньшая площадь, чем в среде первого типа.

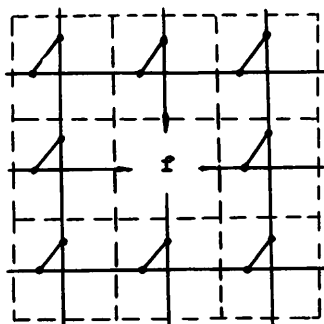


Рис. 7.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л.Л. Барнс. Криоэлектронные запоминающие устройства-ТИИЭР, 1964, № 10, стр. 1254-1267.
2. Дж. П. Притчард, Дж. Т. Пирс, В.Г. Слей. Фотолитографический метод изготовления криотронов.ТИИЭР, 1964, № 10, стр. 1301-1310.
3. Э.В. Евреинов. Теоретические основы построения универсальных вычислительных сред. - Вычислительные системы, Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, вып. 16, 1965.