

УДК 681.142.353

ОБ ОДНОМ ВАРИАНТЕ МАКЕТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
НА КРИОТРОНАХ

Я.С. Кан, В.А. Рахубовский, В.К. Бабайлов

Требования высокой производительности вычислительных машин при решении различных задач и простоты технологии изготовления приводят к необходимости создания машин со структурой, изменяющейся в зависимости от решаемых задач, и отличающихся высокой однородностью.

В литературе [1] показано, что таким требованиям наилучшим образом могут удовлетворить вычислительные среды. Основным элементом вычислительной среды (ВС) является универсальный элемент (УЭ), выполняющий определенный набор соединительных и логических функций.

Необходимость достаточно большого количества УЭ для построения ВС (по крайней мере $\geq 10^4$) и сравнительная сложность УЭ предъявляют ряд жестких требований к элементам, из которых могут быть построены УЭ и, в целом, вся ВС. Поэтому представляет интерес исследовать возможности построения ВС на криотронах — универсальных по своим возможностям элементах [2], [3].

Такая постановка задачи является своевременной и в связи с тем, что пленочная технология, несмотря на трудности в изготовлении сложных схем, приобрела уже достаточно прочную основу, позволяющую сделать обнадорживающие выводы о состоянии раз-

работок в ближайшем будущем [4], [5].

В работе рассматривается один из возможных вариантов макета однородной двумерной ВС с прямоугольным покрытием на криотронах, в основу которого положен УЭ с бинарным кодированием входных переменных [6].

Приводятся некоторые экспериментальные результаты исследований работы макета ВС, построенного из проволочных свинцово-оловянных криотронов при реализации на нем различных вычислительных устройств и элементов.

Блок-схема макета ВС

На рис. 1 приведена блок-схема макета ВС и связанного с ним внешнего оборудования. Из рассмотрения этого рисунка видно, что собственно низкотемпературная часть схемы макета ВС

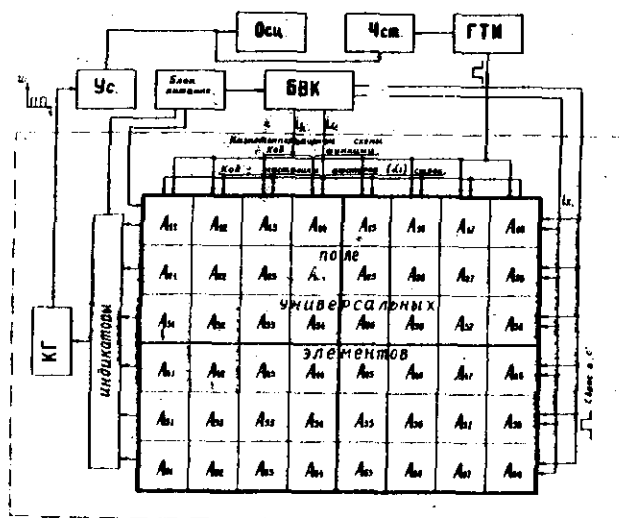


Рис. 1

состоит из поля УЭ, индикаторов и криотронного генератора (КГ). Поле УЭ представляет собой структурно однородное логическое устройство, состоящее из 48 идентичных и одинаково сое-

диненных друг с другом УЭ, каждый из которых может выполнять три соединительных функции: "И", "ИЛИ", "НЕ", и одну релейно-контактную функцию f . УЭ в макете соединяются между собой так, что выходы одних являются входами других УЭ, соседних с ними. Таким образом, поле УЭ представляет собой матрицу M , состоящую из 8- столбцов и 6- строк. Данный УЭ (рис.2) [6] был выбран в связи с тем, что он обладает широким диапазоном изменения питающих и управляющих токов, малой чувствительностью к на-

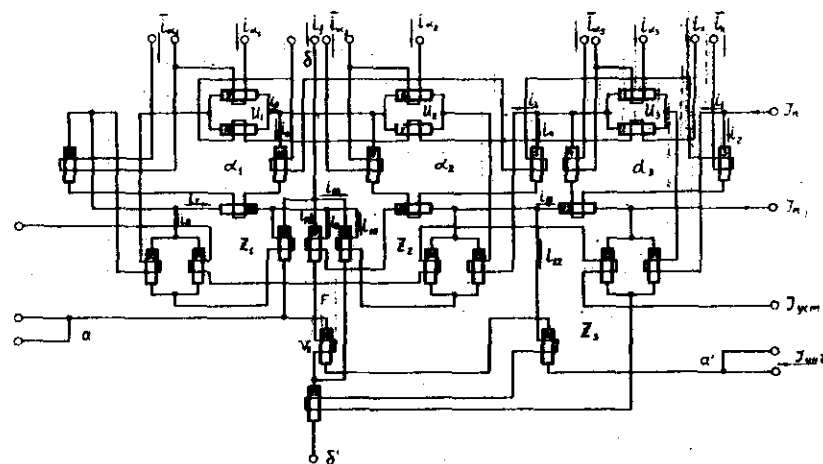


Рис. 2

водкам от токов в соседних элементах и внешних помех и приемлемой надежностью.

Индикаторами являются криотроны, стоящие в 1-ом столбце каждой строки поля УЭ, и подключенный к ним криотронный генератор (КГ) по схеме, описанной в [7]. КГ преобразует подаваемую на его вход с индикаторных криотронов постоянную разность потенциалов ($\sim 10^{-5}$ в) в переменный сигнал ($\sim 10^{-2}$ в), достаточный для запуска внешних электронных блоков макета.

В состав макета ВС, кроме низкотемпературных схем, построенных полностью из криотронов, входят следующие внешние блоки:

Б В К - блок внешних коммутаторов, предназначенный для набора кодов настройки контуров (α_1) УЭ и кодов функции и отсылки их в поле УЭ;

У С - электронный усилитель типа У4-1, предназначенный для усиления (колебаний) напряжения с выхода КГ до величины -1 в, достаточной для запуска электронного частотомера (Чст) типа ЧЗ-3, работающего в режиме измерения интервалов времени;

О с ц - электронный осциллограф типа СГ-19, предназначенный для наблюдения колебаний на выходе КГ;

Б л о к и п и т а н и я - источники постоянного тока, питающие низкотемпературные схемы макета БС;

Г Т И - генератор токовых импульсов, предназначенный для подачи тока функции в поле УЭ и синхронного запуска частотомера.

Настройка и работа макета БС.

Настройка УЭ производится по координатному принципу, основанному на временном совпадении сигналов, поступающих из БЖ, путем записи токов в настроечные контуры α_1 , α_2 , α_3 .

Для возвращения УЭ в исходное состояние на УЭ из БЖ подается импульс сброса в "0".

В настоящем варианте макета БС стирание осуществляется по строкам, что и определило строчный принцип настройки УЭ, хотя её можно производить по столбцам и даже поэлементно для УЭ рассматриваемого типа.

Рассмотрим теперь некоторые конкретные реализации простейших логических функций и устройств, выполненных на данном макете БС. Реализация логических функций в среде с такими УЭ может выполняться при помощи методики, описанной в [8], которая позволяет получать программу настройки БС непосредственно по таблице истинности или по нормальной форме логической функции.

На рис.3а,б показаны соответственно схемы соединений функциональных криотронов УЭ и настройка УЭ в макете БС при реализации триггера с раздельными входами для управляющих сигналов (x_1 , x_2), составленного из 24 УЭ.

На рис.3в,г показаны соответственно схемы соединений функциональных криотронов УЭ и настройки УЭ в макете БС при реализации самоблокирующегося триггера, составленного из 21 УЭ.

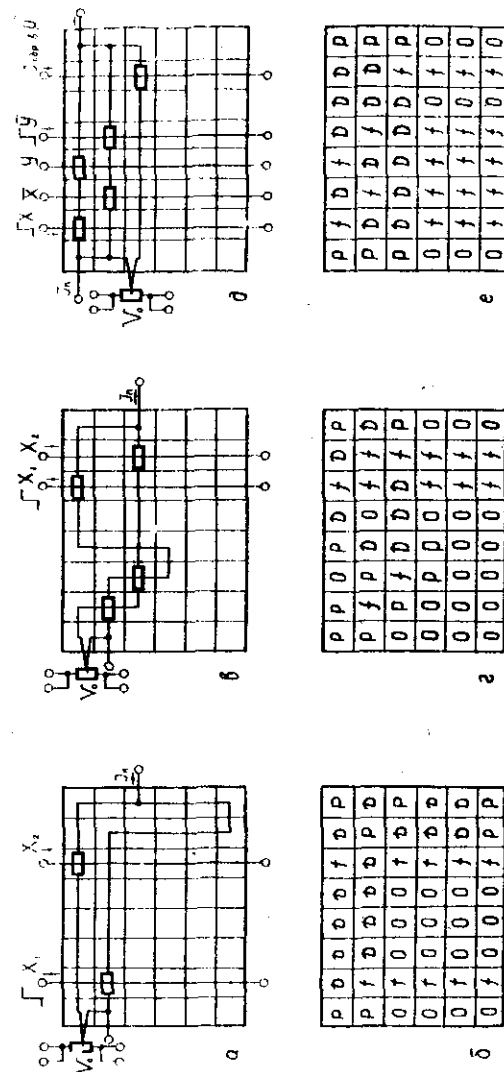


Рис. 3

На рис.3д,е показаны соответственно схемы соединений функциональных триггеров УЭ и настройки УЭ в макете БС при реализации функции неравнозначности, где $U_0 = (x+y)(\bar{x} + \bar{y})$. Логическая схема состоит из 24 УЭ. Для возвращения схемы в исходное состояние подается ток сброса в "0" и токи $\bar{x}$ и $\bar{y}$.

Результаты экспериментальных исследований.

На рис. 4 приведены полученные с помощью экспериментальных исследований работы макета БС зависимости времени срабатывания триггеров с отдельными входами от величины тока питания. Под временем срабатывания триггера понимается то время, в течение которого ток питания схемы в одной ветви (в которой он протекал в исходном состоянии) уменьшится до $i < i_{кр}$, а во второй ветви нарастает до значения $i \geq i_{кр}$.

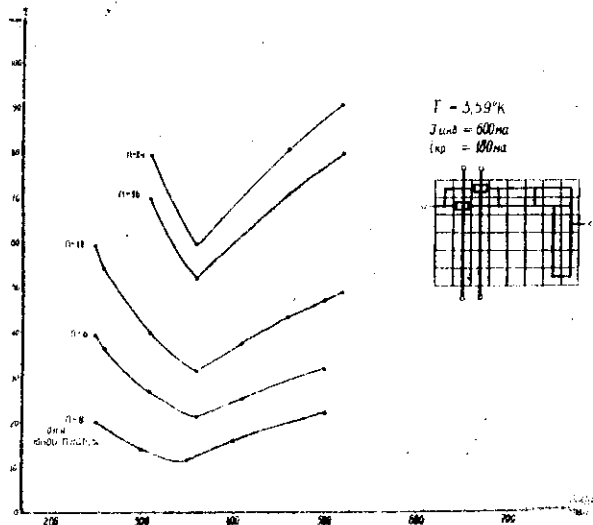


Рис. 4

Схема построения в БС таких триггеров, содержащих от 8 до 24 УЭ, приведена на рис.4 справа сверху.

На рис. 5 приведена экспериментально снятая зависимость времени срабатывания триггера, содержащего 8 УЭ, от величины тока питания. Этот триггер был реализован на одной плате, содержащей 12 УЭ [6]. Из рассмотрения временных зависимостей для триггеров, состоящих из 8 УЭ видно, что быстродействие триггера, реализованного в макете БС, содержащем 48 УЭ, примерно в 2 раза меньше, чем быстродействие триггера, собранного на одной плате из 12 УЭ. Это обстоятельство вызывается, по-видимому, пугирующим действием многоэлементной БС. На рис. 5 приведена зависимость минимального времени срабатывания вышеуказанных триггеров от числа УЭ (n), из которых эти триггеры построены. Из рисунка видно, что эта зависимость при небольших n близка к линейной.

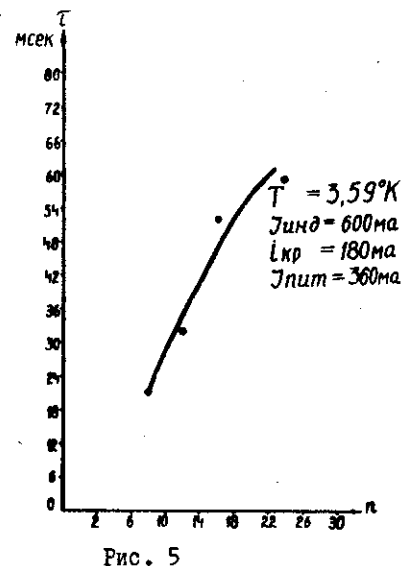


Рис. 5

На рис. 6 показаны экспериментально снятые зависимости времени срабатывания (кривые 1 и 2) соответственно самоблокирующегося (рис.3в) и обычного триггера (рис. 3а) в зависимости от величины тока питания. Из рассмотрения этих кривых видно, что самоблокирующийся триггер, представляющий схему с обратными связями, ускоряющими переходные процессы в схеме, обладает несколько большим быстродействием, чем обычный триггер, содержащий примерно то же самое количество УЭ, что и самоблокирующийся триггер. При этом рабочий диапазон изменения питающих токов для обычных триггеров довольно велик 250-520 мА, тогда как для самоблокирующегося триггера он несколько уже - 150-250 мА, хотя практически и в этой схеме ток может изменяться до 360 мА, но, как видно из рис. 6, начиная уже с 250 мА, τ резко возрастает. Пунктирная кривая 3 показывает расчетное время срабатывания самоблокирующегося триггера от величины тока питания.

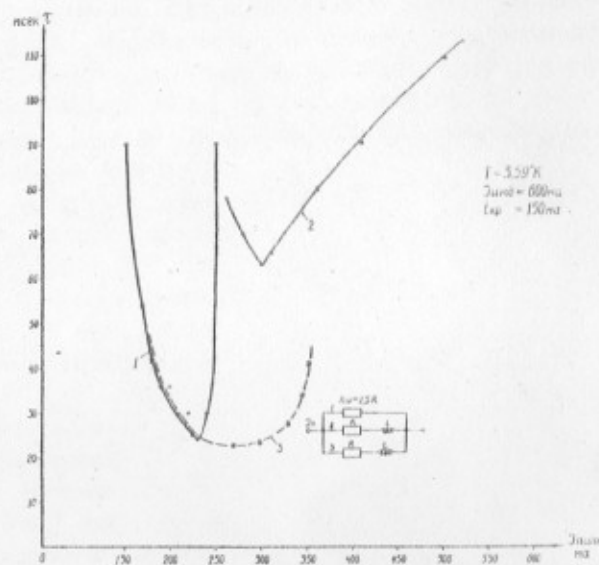


Рис. 6

Макет ВС, содержащий 48 УЭ, был собран и исследован в работе по рассмотренной выше схеме. В него входило в общей сложности около 1300 проволочных свинцово-оловянных криотронов. Поле УЭ состояло из четырех плат, размерами 180x90 мм, на каждой из которых располагалось по 12 УЭ с индикаторными криотронами. Платы объединялись между собой сверхпроводящими перемычками. Общий вид макета ВС на криотронах показан на рис. 7. Число входов в макет достигало 135. Для управления, настройки и индикации из БВК в макет подавались токи величиной от 200 до 600 мА.

Один такт (цикл) работы проходит следующим образом. Вначале производится настройка макета на реализацию требуемой функции, для чего в настроечные контуры α_2 УЭ записываются токи. Затем от ГТИ (или от БВК) поступает токовый импульс на функциональные входы соответствующих УЭ набора. Тот же самый импульс

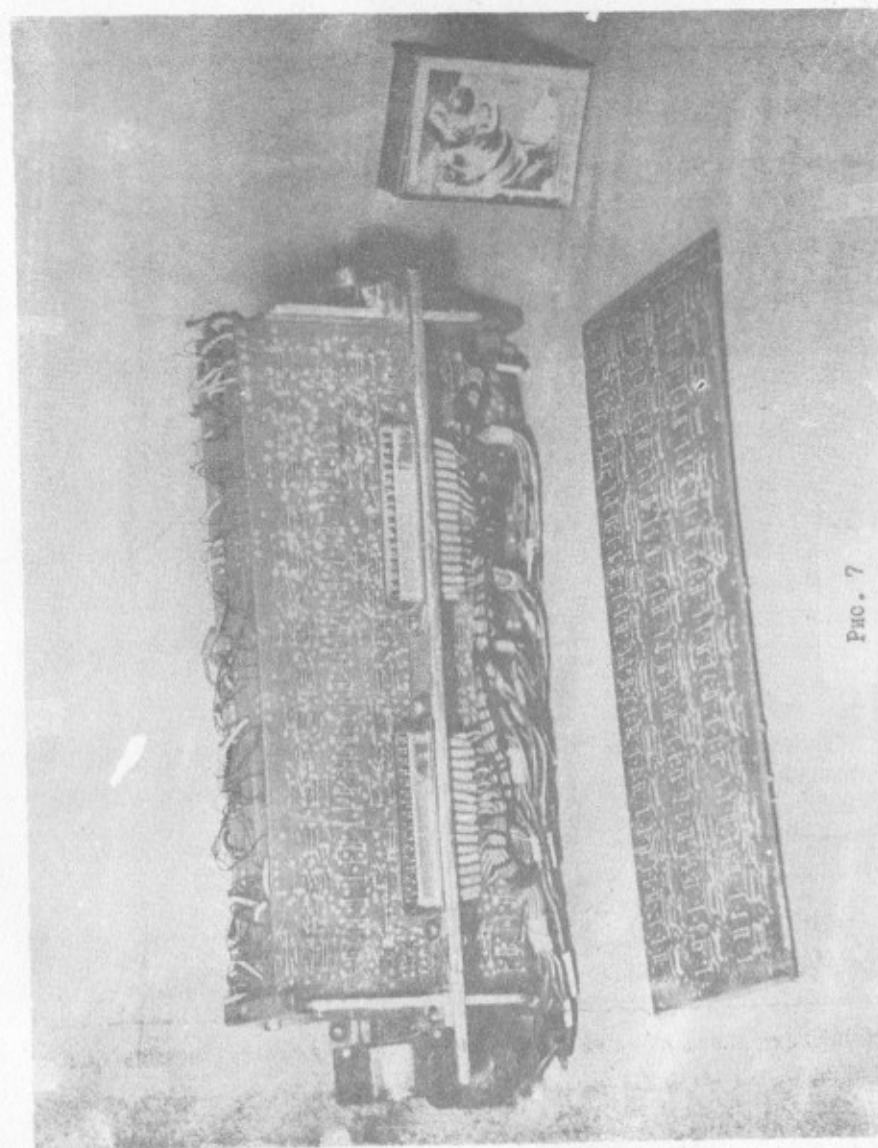


Рис. 7

от ГТИ одновременно с поступлением в макет ВС производит запуск частотомера, работающего в режиме измерения интервалов времени. По окончании переходных процессов в среде на индикаторных криотронах устанавливается постоянная разность потенциалов $\sim 10^{-5}$ в, которая преобразуется КГ в переменное напряжение амплитудой $\sim 10^{-2}$ в. Этот сигнал поступает затем на вход усилителя, в котором усиливается до величины ~ 1 в. Далее усиленный сигнал поступает на вход осциллографа для контроля за работой КГ и на вход частотомера для прекращения счета времени. При этом на табло частотомера показывается время переходного процесса в макете ВС.

В ы в о д ы

1. Экспериментально показана пригодность криотронов для построения ВС.

2. Время срабатывания некоторых устройств, реализованных на описанном выше макете ВС, лежит в диапазоне $10 + 10^2$ мсек. Можно ожидать, что в случае реализации ВС на пленочных криотронах, имеющих $\tau_s \approx 5 \cdot 10^{-9}$ сек, время срабатывания аналогичных устройств будет заключаться в диапазоне $0,1 + 1$ мсек, что уже представляет интерес с практической точки зрения.

3. Довольно большой рабочий диапазон изменения управляющих и питающих токов ($\pm 30\%$) обеспечивает приемлемую надежность таких ВС.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В. ЕВРЕИНОВ, Д.Г. КОСАРЕВ. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука" СО, 1966.
2. Д. БРЕМЕР. Сверхпроводящие устройства. М., Изд-во "Мир", 1964.
3. О.Л. БАНДМАН, В.Ф. ГУРКО, Н.И. НАЗАРОВ, Б.М. ФОМЕЛЬ. Криотронные элементы вычислительной среды. - Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука" СО, 1968, вып.2.

4. J.P. PRITCHARD. Superconducting thin-film technology and application. IEEE Spectrum, vol.3, N 5, p.46, 1966.
5. R.E. FRUIN, J.W. BREMER, A.K. OKA. A Hybrid Cryotron Technology. IEEE Trans. on Magnetics, vol. Mag.2, N 3, p. 381, 1966.
6. Я.С. КАН, В.А. РАХУБОВСКИЙ, В.К. БАБАЙЛОВ. К вопросу о возможности построения на криотронах УЭ вычислительной среды. - Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука" СО, 1969, вып. 33.
7. Я.С. КАН, В.А. РАХУБОВСКИЙ. Применение криотронного преобразователя для исследования криотронных схем. - Автоматика и телемеханика. 1965, т. XXVI, № 10, стр. 1884.
8. О.Л. БАНДМАН. Реализация автоматов в криотронной вычислительной среде. - Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука" СО, 1968, вып. 3, стр. 126.

Поступила в редакцию
15.VI.1969 г.