

## ОБ ОДНОЙ ГРУППЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

*Ю.А. Попов, П.Е. Бочков, В.А. Бакулин*  
(Москва)

Поскольку основы построения дискретных вычислительных средств ДВС на элементах с задержкой были рассмотрены авторами в одной из статей настоящего сборника, ниже излагаются лишь некоторые принципиальные схемные решения для ДВС с индивидуальным поведением элементов и для устройств управления ДВС.

### 1. Требования к элементам ДВС

Эти требования можно разделить на две категории:

1. Требования, обусловленные необходимостью микроминиатюризации элементов.

2. Требования, обусловленные работой в составе ДВС.

К первой категории относятся:

- а) малые рассеиваемые мощности,
- б) большие допуски на компоненты,
- в) обеспечение работоспособности схем при использовании имеющихся и перспективных типов микродиодов и микротранзисторов.

Вторая категория требований предусматривает:

- а) возможность организации переменных управляемых связей между элементами,
- б) возможность организации временного согласования работы элементов при функционировании ДВС.

## 2. Динамический инвертор как основа построения логических элементов с задержкой для ДВС

Вышеперечисленным требованиям удовлетворяет группа схем, которые относятся к категории динамических инверторов. Схемы выполняются на основе транзисторного ключа с импульсным питанием в цепи коллектора. Коллекторное питание в виде импульсов напряжения подается на транзистор после поступления входных сигналов в цепь базы. Так что в момент подачи коллекторного напряжения транзистор оказывается либо в состоянии насыщения, если входные сигналы не равны нулю, либо в закрытом состоянии, если входные сигналы равны нулю.

Коллекторное питание снимается прежде, чем транзистор выйдет из насыщения. При этом условии, мощность, рассеиваемая в транзисторе, будет минимальной и мало зависящей от частоты работы схемы, так как в схеме отсутствует процесс переключения, характерный для инвертора с постоянным коллекторным питанием. Этим достигается снижение рассеиваемой транзистором мощности и повышение надежности работы схемы.

Динамический инвертор обладает хорошими формирующими свойствами, так как параметры выходного сигнала мало зависят от параметров транзисторов, а главным образом определяются параметрами сигналов коллекторного питания. Входной сигнал, поступающий в базовую цепь транзистора, может быть произвольной формы, лишь бы он мог ввести транзистор в насыщение на время действия коллекторного импульса.

С другой стороны, на схемы с импульсным питанием накладываются определенные ограничения. Они связаны с временными параметрами входных и питающих импульсов, с временем рассасывания избыточных носителей, а также с временем восстановления закрытого состояния транзистора.

Работа динамического инвертора будет надежной, если к приходу очередного входного сигнала в базовой и коллекторной областях транзистора будут отсутствовать избыточные носители, даже если предшествующий входной сигнал вызвал его насыщение.

Динамический инвертор-ключ с импульсным питанием был положен в основу синхронной системы элементов для организации ДВС. Импульсное питание удобно использовать в качестве сигнала

лов, синхронизирующих работу ДВС.

Транзистор в динамическом инверторе выполняет роль задерживающего и одновременно запоминающего звена, так как входные сигналы на элемент поступают раньше коллекторных импульсов и транзистор некоторое время находится в проводящем состоянии. Это время определяется временем рассасывания транзистора и зависит от величины входного тока в базовую цепь транзистора, от тока рассасывания и от скорости рекомбинации избыточных носителей в областях транзистора.

У имеющихся в настоящее время германиевых транзисторов типа IT308 или у соответствующих им микротранзисторов время рассасывания достаточно велико, чтобы использовать эффект накопления в логических элементах для задержки в ДВС.

Успехи в разработке кремниевых приборов позволяют надеяться, что будут созданы приборы с временем рассасывания не более нескольких десятков наносекунд. Для реализации эффекта накопления и задержки на таких транзисторах в качестве запоминающего элемента можно использовать емкость в цепи базы.

Принципиальная электрическая схема типичного элемента с задержкой для организации ДВС изображена на рис. I. В данном

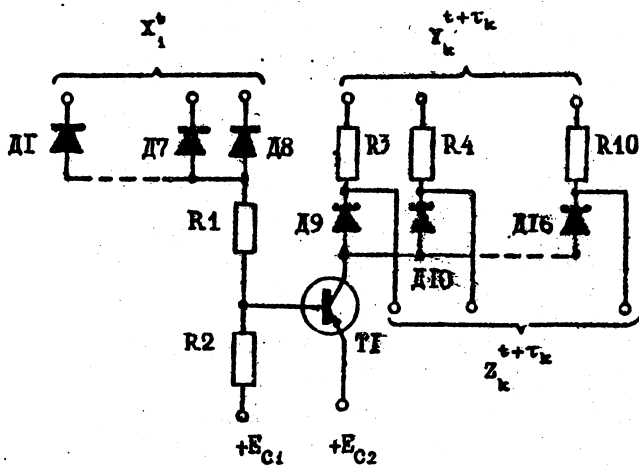


Рис. I. Принципиальная электрическая схема логического элемента восьмисвязной ДВС

элементе предусматривается использование германиевых транзисторов типа р-п-р с большим временем рассасывания, поэтому емкость в цепи базы отсутствует.

В качестве коллекторного питания логических элементов ДВС используется система из четырех импульсных последовательностей со скажностью четыре, сдвинутых на длительность импульса (рис. 2) Период  $T$  принят за длительность цикла работы логического элемента и всей ДВС; длительность импульса определяет время такта работы логического элемента.

Импульсы коллекторного питания используются в качестве переменных, управляющих выходными сигналами с элемента, так как при их отсутствии выходной сигнал всегда равен нулю. Элемент предназначен для восьмисвязной ДВС, поэтому к одному инвертору подсоединяется восемь коллекторных цепей. Они работают независимо одна от другой благодаря диодам, расположенным в месте подсоединения нагрузок к коллектору инвертора. Каждая коллекторная цепь является отдельным выходом элемента, она может быть подсоединена ко входу лишь одного аналогичного элемента и обеспечивает определенный входной ток на другой элемент.

При нулевых входных сигналах транзистор  $T_1$  остается в режиме отсечки благодаря положительному смещению  $+E_{c1} > +E_{c2}$

Сигналы импульсного питания, поступающие на коммутируемые выходы элемента, проходят на входы следующих элементов. Входной ток главным образом определяется суммой резисторов  $R_1$  и

$R_3 \div R_{10}$ . При единичном входном сигнале, поступившем хотя бы на один из входных диодов, транзистор  $T_1$  входит в глубокое насыщение, и напряжение сигналов импульсного питания падает на резисторах  $R_3 \div R_{10}$ . При этом транзисторы элементов, подключенных к коллекторным нагрузкам данного элемента, остаются в режиме отсечки.

Сигналы импульсного питания, входные и выходные сигналы элемента строго фиксированы во времени. Для пояснения логических свойств и временных режимов работы элемента введем временные индексы, стоящие справа вверху у символов каждой пере-

менной. Например,  $X_1^t$  —  $i$ -ая входная переменная, поступающая на вход элемента в такте  $t$ . Сигналы импульсного пита-

ния  $Y_k^{t+\tau_k}$  могут быть поданы на элемент в общем случае

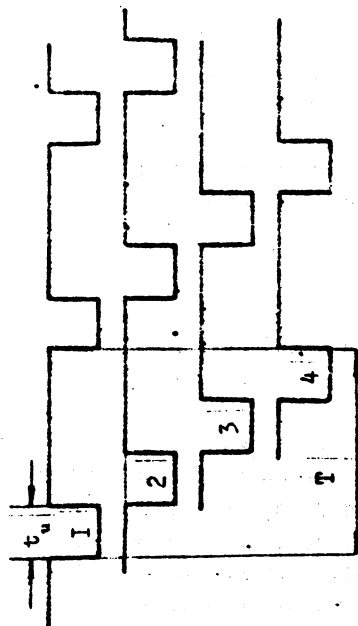


Рис. 2. Идеализированные сигналы системы  
импульсного питания

со сдвигом в такте  $t + \tau_k$ , где  $\tau_k = 0, 1, 2$  - относительные временные сдвиги, характерные для системы импульсного питания.

При  $\tau_k = 0$  сигнал  $Y_k^{t+\tau_k}$  поступает в коллекторную цепь элемента одновременно с входными переменными  $X_i^t$ . Такой режим работы назван нулевым - "0". При  $\tau_k = 1$  сигнал  $Y_k^{t+\tau_k}$  поступает в коллекторную цепь элемента со сдвигом на один интервал. Такой режим назван единичным - "1". Сдвиг  $Y_k^{t+\tau_k}$  на два интервала относительно входного сигнала дает режим "2".

Уравнение для выходных сигналов с элемента имеет вид:

$$Z_k^{t+\tau_k} = \bigvee_{i=1}^n X_i^t \wedge Y_k^{t+\tau_k}$$

где  $Z_k^{t+\tau_k}$  -  $k$ -ый выходной сигнал элемента ( $k=1, 2, \dots, 8$ );  
 $n$  - количество входных переменных  $X_i$  (для данного элемента  $n=8$ ).

### 3. Элементы ДВС на германиевых полупроводниковых приборах

Были разработаны три варианта элементов для восьмисвязной ДВС с использованием компонент и конструкции микромодулей эталонного типа. Все три варианта использовали импульсное питание со следующими параметрами:  $F = 1,0 \text{ мГц} \pm 5\%$ . Амплитуда импульсов коллекторного питания  $A = 5,5 \text{ в} \pm 10\%$ . Длительность импульсов на уровне 0,9 от основания импульсов  $t_n = 250 \text{ нсек} \pm 10\%$ . Фронты импульсов  $t_f \pm = 50 + 80 \text{ нсек}$ . Полярность отрицательная от уровня с нулевым напряжением. Во всех вариантах использовались транзисторы ITM805A и диоды ДИМ-3. Мощность, рассеиваемая элементами во время работы, составляет величину 10+15 мвт. Элементы первого варианта имели следующие параметры (схема элемента соответствует рис.1):  $R_1 = 470 \text{ ом}$ ,  $R_2 = 2,7 \text{ к}$ ,  $R_3 = 820 \text{ ом}$ ,  $E_{c1} = +1,2 \text{ в}$ ,  $E_{c2} = 0$ . Допуски на резисторы и источники смещения -  $\pm 10\%$ . Элемент прошел полный цикл

использаний на соответствие общепринятой нормали на микромодули температурного диапазона  $-60^{\circ}\text{C} + 70^{\circ}\text{C}$ . Допускается одновременная работа трех коллекторных нагрузок и одновременное поступление сигналов двух переменных на вход элемента.

При использовании элемента в ДВС применяются "0" и "1" режимы работы. В режиме "0" допускается одновременная работа трех последовательно соединенных элементов. Максимальный коэффициент разветвления по выходу равен шести. Во втором варианте (рис. 1) используется два источника смещения:

$E_{c1} = +2,4\text{В} \pm 10\%$ ,  $E_{c2} = +1,2 \pm 10\%$ . Введение источника

$E_{c2}$  приводит к появлению начального тока через диоды коллекторных цепей при поступлении единичных входных сигналов. Это уменьшает помеху за счет протекания тока от коллекторного импульса через коллекторный диод.

В элементе допускается одновременная работа пяти коллекторных цепей и поступление четырех переменных на вход. В ДВС используются режимы работы "0" и "1". В режиме "0" могут работать два последовательно соединенных элемента. Температурный диапазон работы  $-60^{\circ}\text{C} + 70^{\circ}\text{C}$ . Параметры резисторов при 10% допусках  $R1 = 3\text{к}$ ,  $R2 = 7,5\text{к}$ ,  $R3 + R10 = 1,6\text{к}$ .

Если два вышеописанных типа элементов для запоминания и задержки используют заряд избыточных носителей в базовой и коллекторной областях транзистора, то третий тип (рис. 3)

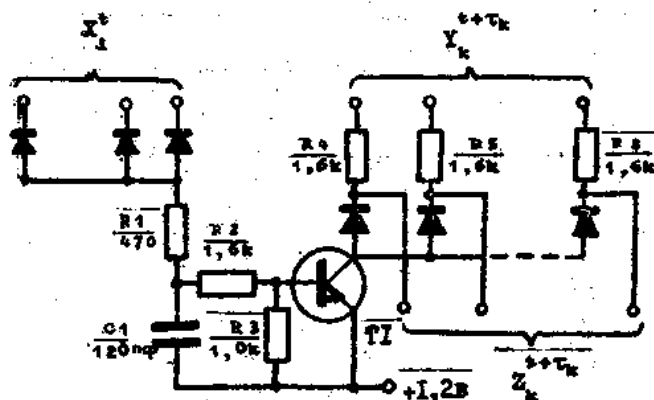


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема логического элемента с запоминающей емкостью

использует запарашивающую емкость в цепи базы. Нагрузочная способность элемента такая же как у второй схемы. В элементе используются режимы "1" и "2".

#### 4. Элементы ДВС на кремниевых полупроводниковых приборах

Для элементов на кремниевых микротранзисторах использовалась система импульсного питания со следующими параметрами:  $F = 1,6 \text{ мкс} \pm 5\%$ . Амплитуда коллекторных импульсов  $A = 5\text{В} \pm 10\%$ . Длительность импульсов на уровне 0,9 от основания -  $t_u = 150 \text{ нсек}$

$\pm 10\%$ . Фронты импульсов -  $\tau_f \pm = 30 + 60 \text{ нсек}$ . Полярность положительная от уровня с нулевым напряжением. Принципиальная электрическая схема элемента приведена на рис.4.

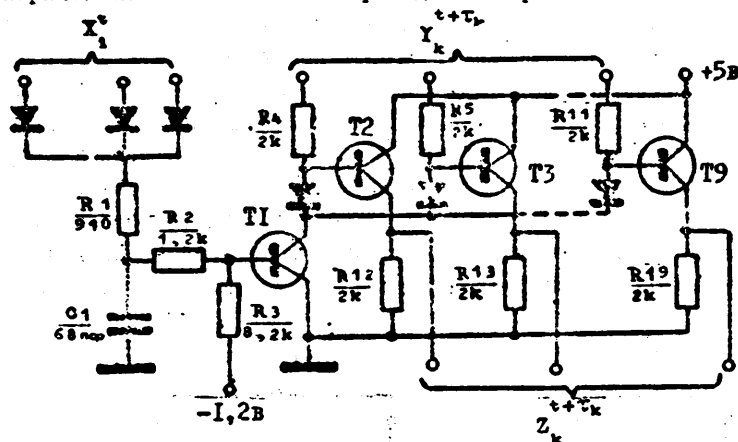


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема логического элемента на кремниевых микробиорах

При использовании данных элементов в ДВС применяется режимы работы "1" и "2". Допускается одновременная работа в каждом из режимов четырех коллекторных цепей, допускается поступление одновременно восьми переменных на входе.

Поступление переменных на вход в разных тактах в течение одного цикла запрещено во всех вышеописанных элементах.

Предусматривается работа элемента на любом типе перспективных планарных кремниевых транзисторов как бескорпусных, так и в корпусах. Возможно использование бескорпусных микротранзисторов.



Допуски на резисторы и емкость  $\pm 20\%$ . Все это позволяет выполнить ДВС на данных элементах в виде гибридной системы (при использовании тонкопленочных резисторов и связей при навесных транзисторах и диодах) либо выполнить ДВС в интегральном виде.

## 5. К вопросу выбора типа ЗУ для управления ДВС

Специфичность требований к запоминающим устройствам (ЗУ) для управления дискретной вычислительной средой заключается в следующем.

1. Коды, в которых зашифрована структура устройства, параллельными в полном смысле назвать нельзя, так как сигналы в них могут быть сдвинуты по фазе. Это связано с использованием четырехтактного импульсного питания логических элементов.

2. Частота работы ЗУ должна быть равна рабочей частоте логических элементов ДВС. Это необходимо для того, чтобы изменять связи между элементами ДВС (перестраивать структуру среды) в каждом цикле работы.

ЗУ целесообразно разделить на две части. В одной хранятся постоянные коды структуры схем — эта часть является постоянным или односторонним запоминающим устройством ПЗУ. Коды структуры набираются лишь при программировании задачи. В другой части хранятся коды операндов, она работает как обычное ОЗУ. Использование ПЗУ для хранения кодов структуры схем на ДВС не снижает возможностей системы, потому что все изменения местоположения реализуемых схем на ДВС, например, при отказах в элементах ДВС, могут быть запрограммированы заранее и осуществлены подачей соответствующих управляющих сигналов на ПЗУ.

В ДВС из описанных выше элементов сигналы информации и коды из ПЗУ могут поступать по одним и тем же шинам. Это упрощает связь между ЗУ и ДВС в системах обработки информации на основе ДВС.

Проделанные работы по выбору типа ЗУ и ПЗУ для управления ДВС показали, что быстродействие 1 мГц может быть получено как на микроферритах марки ВТ-7 с диаметром тора 1 мм и менее, так и на тонких ферромагнитных пленках.

Быстродействие 1,6 мГц может быть получено при использовании тонких ферромагнитных пленок — ТМП с цилиндрической подложкой.

Конкретно коды из ОЗУ и ПЗУ со сдвигом по фазе в отдельных разрядах могут быть получены следующим образом (рис. 5).

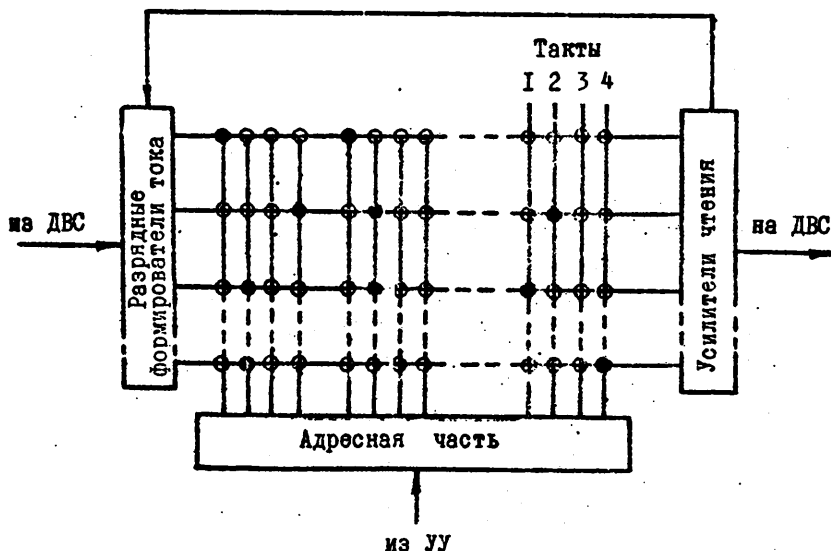


Рис. 5. Принцип построения ЗУ для системы ДВС-ЗУ

● - феррит в "I" состоянии, участок ТМП или диод

Каждая единица информации запоминается на одном из четырех ферритов или участков ТМП в соответствии с номером такта, в котором она должна появиться на выходе ЗУ. При последовательном возбуждении соответствующей группы из четырех адресных шин произойдет последовательное перемagnetивание четырех запоминающих элементов. Так как в одном разряде хранится не более одной единицы информации, перемagnetится только один из элементов, и на выходной шине появится сигнал в соответствующем такте. Он может быть усилен и сформирован.

При записи информации в ЗУ работа формирователя разрядного тока должна также протекать в один из четырех тактов в течение каждого цикла записи. Учитывая, что из восьми связей каждого логического элемента восьмисвязной ДВС работают в большинстве случаев 2 - 3, а из всего количества элементов ДВС в каждый цикл работы задействована только определенная

часть, становится очевидным сильно разреженный характер кодов, поступающих из ЗУ на ДВС (на одну единицу приходится много нулей).

Поэтому имеется еще одна возможность построения ПЗУ для хранения кодов структуры на обычных диодах или микродиодах, которые в настоящее время достаточно дешевы и надежны (диоды используются лишь для хранения единиц). Микроэлектронные диодные матрицы наряду с тонкими ферромагнитными пленками - наиболее перспективная и технологичная среда для построения ЗУ системы ДВС-ЗУ.