

Схема многоустойчивого элемента исследовалась экспериментально на промышленных интегральных гибридно-пленочных триггерах типа 2ТР114, 2ТР115 и 2ТР116. Транзисторы *pnp* типа проводимости выбирались из интегральной микросборки К2ЛБ102; использовались также дискретные транзисторы: 2ТР116 и КТ360—кремниевые, МП416 и МП417—германиевые высокочастотные. Необходимо отметить, что лучшая линейность получается при выполнении токостабилизирующего элемента на высокочастотных германиевых транзисторах. С точки зрения линейности характеристики большой интерес представляют гибридно-пленочные интегральные логические элементы К2ЛБ102, выполненные на транзисторе П4. Если на кремниевых транзисторах можно получить 7—12 ступенек с более или менее линейной характеристикой, то на этом интегральном микро модуле число ступенек с такой же линейностью может быть увеличено более чем вдвое. Вообще число ступенек может быть получено до нескольких тысяч, однако о линейности характеристик здесь говорить не приходится. По мере увеличения n стабильность резко падает. Например, при $n=10$ влияние температуры начинает сказываться при 55—60°C, но при $n=25$ число ступенек начинает увеличиваться уже при 40—45°C. Исследования чувствительности схемы к приращениям напряжения источника питания показали, что при неизменных параметрах входных счетных импульсов число ступенек напряжения оставалось неизменным в диапазоне напряжений от 2 до 3,2 и от 3,8 до 4,1 В. По мере роста напряжения источника питания число ступенек растет практически пропорционально при неизменных параметрах схемы и счетных импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Яковлев. Импульсные генераторы на транзисторах. Киев, «Техника», 1968.
2. Многоустойчивые элементы и их применение. Под ред. В. П. Сигорского. М., «Сов. радио», 1971.
3. П. Н. Димитраки, С. Н. Димитраки. Многоустойчивые импульсные элементы на интегральных микросхемах.— «Автометрия», 1972, № 2, с. 102—104.
4. В. А. Ильин. Импульсные устройства на мостовых элементах. М., «Энергия», 1965.

*Поступила в редакцию 4 июня 1974 г.;
окончательный вариант — 8 декабря 1974 г.*

УДК 681.142.38 : 681.142.2 : 681.142.4

З. ЗАМОРИ, Г. А. ОСОСКОВ, А. ХОРВАТ

(Москва)

О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Введение. За последние два-три года успехи технологии изготовления микросхем привели к созданию сначала карманных калькуляторов, быстро получивших огромную популярность среди многих миллионов людей, а потом и настоящих микро-ЭВМ, которые, как это будет показано ниже, уже могут успешно соперничать с традиционными вычислительными машинами.

Однако если карманные калькуляторы сразу же нашли себе обеспеченный рынок сбыта, что позволило уже в 1972 году — первом году

их появления — произвести и продать 5 миллионов штук*, то развитие микрокомпьютеров идет более сложным путем.

Пользователями обычных ЭВМ способность этих крохотных (4—5 мм) кусочков кремния с удачно распределенной примесью делать буквально то же, что и «настоящие» ЭВМ, воспринималась вначале как некий парадокс, а сами микро-ЭВМ как забава. Этому способствовали определенные трудности роста, естественные для всякого нового дела. Подобная инерция представлений и порождаемая ею осторожность явились, по-видимому, основной причиной узости рынка сбыта, что, в свою очередь, препятствовало развитию и распространению микро-ЭВМ.

В настоящей работе мы в основном будем рассматривать наиболее значительную часть любой ЭВМ — процессор, понимая под этим все узлы ЭВМ, за исключением блока памяти и устройств ввода-вывода. С 1972 года, когда фирмой INTEL в США была создана микросхема, выполняющая все функции процессора, стали говорить о микропроцессорах.

Технология *p*-канальных МОП или более современная технология МОП с *n*-каналами и полисиликонными затворами [2] позволяет производить микросхемы всех основных компонент ЭВМ: памяти, интерфейсов и микропроцессоров, которые являются самой сложной из них.

Наиболее совершенны в настоящее время микропроцессоры фирм INTEL [3] и MOTOROLA [4]. Они разработаны согласно архитектурным принципам современных малых и средних машин, имеющих байтовую организацию. Ниже будет более подробно описан один из них.

Микропроцессоры типа INTEL-8080. Интегральная схема INTEL-8080 представляет собой целый центральный процессор ЭВМ, оперирующий 8-разрядными байтами.

Микропроцессор адресует внешнюю память 16-разрядными двоичными числами, что дает возможность адресоваться к 64К байтам памяти. Цикл обращения к основной памяти составляет 1,5 мкс, время выполнения команд меняется от 2 до 9 мкс, в последнем случае для самой сложной команды с пятью обращениями к памяти.

Процессор, основная память и блоки управления вводом-выводом располагают общим интерфейсом, посредством которого они подсоединяются к общим асинхронным шинам, обеспечивающим 8-разрядный тракт передачи информации между системными компонентами. Процессор содержит 6 рабочих регистров, один сумматор, 4 регистра временного хранения по 8 разрядов каждый, 8-разрядное параллельное двоичное арифметическое и логическое устройство (АЛУ) с 4 сигнальными флажками (триггерами) условий. Кроме обработки байтовых последовательностей, АЛУ обладает также дополнительными возможностями выполнения операций десятичной арифметики. Для ускорения вычислений исполнительных адресов существуют команды, оперирующие 16-разрядными словами для индексации и прибавления базовых адресов.

Процессор имеет стековую архитектуру. Эта архитектурная концепция способствует выделению последовательности ячеек основной памяти, которые используются в качестве памяти магазинного типа. С помощью этого приспособления очень легко организуются многократные вызовы подпрограмм и обслуживание многократных прерываний.

Процессор обладает эффективными командами ввода-вывода для обслуживания до 256 внешних устройств. Кроме простейшего способа передачи данных через сумматор процессора, предусмотрены приспособления прямого доступа к памяти.

Общее количество инструкций микропроцессора равно 78.

* Всего к настоящему времени продано около 30 миллионов карманных калькуляторов [1].

Микропроцессор, содержащий приблизительно 5000 активных элементов (транзисторов) произвольной логики на полупроводниковом кристалле размером 4×5 мм, смонтирован в стандартном керамическом корпусе с 40 выводами.

Составление микро-ЭВМ и ее возможности. Обладая микропроцессором, памятью (тоже на микросхемах) и несколькими универсальными буферами ввода-вывода, можно укомплектовать полную вычислительную машину.

На печатной плате такой машины будет всего восемь микросхем, кроме памяти: сам микропроцессор, микросхема тактового генератора, пять универсальных буферов ввода-вывода и одна простая микросхема с И-НЕ ключами.

Количество микросхем запоминающего устройства нельзя задавать наугад, оно зависит от требуемого объема памяти. Сегодня уже существуют такие микросхемы, которые содержат 2К байтов (16384 бит) в форме постоянной памяти (INTEL-8316). В ней можно хранить операционную систему и библиотеку подпрограмм (например, для операций с полными числами с фиксированной и плавающей запятой). Вот уже два года существуют программируемые и стираемые постоянные блоки памяти объемами 2К бит, т. е. 256 байтов (INTEL-8702), и уже готовы к выпуску микросхемы, которые имеют 4К бит, т. е. 512 байтов (INTEL-8704). Они будут широко использоваться для хранения программ потребителей в случаях, когда микромашины предназначены для цели управления станками и одна и та же производственная задача повторяется в течение долгого времени.

Переходя к основной оперативной памяти микро-ЭВМ, отметим, что статичные запоминающие устройства, которые не требуют обновления по времени, имеют максимальный объем в настоящее время лишь 1К бит (INTEL-8102) в отличие от менее удобных динамических устройств памяти, для которых обычный объем сейчас 4К бит (INTEL-8107).

Тем не менее производство микросхем памяти идет в США очень интенсивно. Достаточно сказать, что с 1970 года всего было выпущено 75 миллионов таких микросхем на 1К бит. Только в 1975 году в соответствии с имеющимися заказами в США выпущено около миллиона запоминающих микросхем на 4К бит [5]. Столь высокий спрос объясняется тем, что микросхемы памяти вытесняют в большинстве вновь производимых ЭВМ традиционные ферритовые МОЗУ. Простая с технической точки зрения, такая замена является, по-видимому, начальным этапом в общем процессе перехода вычислительной техники на микросхемы.

Вышеперечисленные возможности комплектования микро-ЭВМ из набора микросхем дают необычайную гибкость микромашин в различных применениях.

Богатство набора команд и разных способов связи с внешними каналами обеспечивает оптимизацию с точки зрения возникающих требований относительно быстрых и разносторонних байтовых операций, обслуживания внешних прерываний и т. д.

При этом управляющие системы, построенные на таких просто монтируемых компактных элементах, обладают всеми полезными свойствами известной и весьма популярной в приложениях ядерной физики системы САМАС или «Вектор», что делает подобные управляющие микро-ЭВМ весьма перспективными, особенно в области «on line» экспериментов, спектрометрии и автоматизированных измерительных систем.

Будучи предназначенными в основном для целей управления терминалами, станками и различными автоматическими устройствами, микро-ЭВМ могут выполнять также и любые научные вычисления.

Сравнивая возможности микро-ЭВМ и традиционных вычислительных машин, мы не сможем сколько-нибудь полно сопоставить управ-

ляющие ЭВМ, так как слишком большая зависимость от конкретных условий управления препятствует выработке общей методики.

В то же время существует ряд хорошо разработанных способов сравнения вычислительной способности различных ЭВМ, что дает возможность сравнить эту сторону возможного применения микро-ЭВМ с более привычными нам средними и малыми ЭВМ.

Методика определения производительности ЭВМ по смеси «Гибсон-III» и ее использование для сравнения INTEL-8080 и ЕС-1020. Известные способы сравнения производительности различных ЭВМ [6—7] являются статистическими, т. е. учитывают вероятностный характер обрабатываемой информации (случайность времен трансляции программы, ведущихся вычислений, ввода-вывода и т. д.) и вычисляют некоторый средний критерий сравнения, например: пропускную способность ЭВМ (среднее число задач, решаемых в единицу времени, при пакетной обработке); среднее время ответа (при использовании ЭВМ в режиме коллективного пользования).

Однако статистические оценки этих критериев весьма трудоемки и не могут быть проведены на начальных стадиях разработок, когда требуется оценить производительность ЭВМ до ее приобретения.

Прямое сопоставление времен выполнения основных операций микропроцессора INTEL-8080 и средней ЭВМ ЕС-1020, которое можно сделать, например, по таблице, из работы [8] показывает значительные расхождения и мало что дает. В операциях с плавающей запятой, особенно в случае многоразрядной арифметики, ЕС-1020 работает в несколько раз быстрее, но в коротких однобайтовых операциях, таких, как условные и безусловные переходы, сдвиги, логические операции, INTEL-8080 работает столь же быстро. Поэтому естественно сравнивать производительность машины с учетом статистических весов соответствующих операций в типовых программах.

В этой связи вводится понятие внутренней производительности ЭВМ, т. е. среднего числа операций в секунду без учета работы внешних устройств, которая задается выражением

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n a_i t_i + b\tau}, \quad (1)$$

где t_i — время выполнения i -й команды; a_i — вес i -й команды; b — среднее число вводимых единиц информации на n команд; τ — время процессора, затраченное на организацию ввода единицы информации.

Поскольку состав команд сравниваемых ЭВМ может отличаться слишком сильно, разумно свести их список к n обобщенным командам, которых достаточно для реализации большинства алгоритмов в рассматриваемом круге задач. Обычно эти данные называются смесями команд.

Известно много смесей команд, полученных путем статистического анализа большого числа научно-технических и планово-экономических задач.

Мы будем использовать смесь, определенную для ЭВМ третьего поколения, называемую смесью «Гибсон-III» [9]. Статистические веса для смеси «Гибсон-III», указанные в табл. 1, получены при решении большого числа научно-технических задач. Для такого круга задач справедливо также допущение о пренебрежимой малости времени процессора, затраченного на ввод-вывод, т. е. в формуле (1) можно считать

$$b\tau \ll \sum_{i=1}^n a_i t_i. \quad (2)$$

Таблица 1

Интерпретация смеси «Гибсон-III» и расчет внутренней производительности ЭВМ INTEL-8080

№ п/ж	Вид обобщенной операции	a_i	t_i , мкс	$a_i t_i$
1	Чтение слова из ячейки памяти в сумматор	7	26,5	185,5
2	То же, для чисел с плавающей запятой	7	26,5	185,5
3	Передача содержимого (одинарной длины) сумматора в заданную ячейку памяти	7	26,5	185,5
4	Перемещение 500 слов последовательно адресуемых ячеек памяти в другую область последовательно адресуемых ячеек. Предполагается, что ячейки не накладываются	0,006	78/слов	234
5	Перемещение 500 слов, имеющих случайное распределение заданных адресов, в 500 последовательно адресованных ячеек	0,004	130/слов	260
6	Условная передача управления в заданную ячейку (нет передачи управления)	6,5	5	32,5
7	Условная передача управления в заданную ячейку (есть передача управления)	6,5	5	32,5
8	Сравнить два слова и установить индикатор, который может быть проверен	3	60	180
9	То же, для числа с плавающей запятой	3	60	180
10	Сравнить две десятичные цифры и установить индикатор	1	60	60
11	Безусловная передача управления в заданную ячейку	11,5	5	57,5
12	Сложить два числа из заданных ячеек и записать результат	7	107,5	752,5
13	То же, для операции «Вычесть»	7	107,5	752,5
14	То же, для операции «Умножить»	0,6	2500	1500
15	То же, для операции «Делить»	0,2	2850	570
16	Сдвиг содержимого регистра одинарной длины или сумматора влево на 6 двоичных разрядов	4,6	571	2626,6
17	Формирование логического И (ИЛИ) слова, расположенного в сумматоре или регистре, и слова из заданной ячейки памяти	1,7	105,5	175,35
18	Сложить два числа с плавающей запятой. Предполагается необходимость выравнивания на одну цифру (шестнадцатичный порядок) и нормализация на один разряд	5,1	1500	7650
19	То же, для операции «Вычесть»	5,1	1500	7650
20	То же, для операции «Умножить»	5,1	1600	8160
21	То же, для операции «Делить»	3,2	1350	4320
22)	$\sum_{i=1}^{21}$	92,11	—	35752
23)	Индексация *	19	37,5	712,5
24	Косвенная адресация *	19	11,5	36218,5
	$\sum_{i=1}^{24}$	—	—	36683

* Операции определяют дополнительное время для команд, интерпретирующих основные операции, в которых имеется обращение к оперативной памяти.

При составлении 24 программ, реализующих обобщенные команды, приведенные в табл. 1, было учтено, что слова в научно-технических задачах главным образом являются четырехбайтовыми (32 разряда), так что все операнды в случае микропроцессора также брались 32-разрядными.

В качестве примера приведем подпрограмму, реализующую п. 12 в табл. 1.

Сложение двух чисел на заданных ячейках с записью результата в память

КОП INTEL-8080	Регистр, метка	Количество рабочих тактов INTEL-8080
XRA	A	4
LXI	D, ALFA+3	10
LXI	H, BETA+3	10
MVI	C, 4	7
LOOP, LDAX	D	7
ADC	M	7
STAX	D	7
DCX	H	5
DCX	D	5
DCR	C	5
JNZ	LOOP	10

Общее число тактов (0,5 мкс каждый) ... 46.

С учетом четырехбайтовой структуры слов, требующей дополнительно 15,5 мкс на объединение результатов однобайтовых операций, получаем $4(46 \cdot 0,5) + 15,5 = 107,5$ мкс. Аналогичные подсчеты были произведены по остальным 24 подпрограммам, реализующим обобщенные команды в табл. 1, и, таким образом, по формуле (1) с учетом (2) была получена внутренняя производительность микропроцессора INTEL-8080:

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^{24} a_i}{\sum_{i=1}^{24} a_i t_i} = 2640 \text{ операций/с.}$$

Для сравнения из работы [7] была взята табл. 2, в которой приведены внутренние производительности ЕС-1020 и других распространенных ЭВМ, вычисленные также по смеси «Гибсон-III». Сравнение показывает, что по классу научно-технических задач микропроцессор INTEL-8080 уступает ЕС-1020 меньше чем в 4 раза.

Заметим, что по классу плано-экономических задач (короткие операнды) это соотношение снижается, что следует иметь в виду, оценивая будущие применения микрокомпьютеров в этой области вычислений.

Некоторые оценки роста применения микро-ЭВМ. При оценке тенденций распространенности и применения микро-ЭВМ в западных странах не следует упускать из виду вопросы стоимости. Выше уже отмечалось, что карманные вычислители к настоящему времени (спустя всего два года после их появления) достигли в США распространенности в 0,1 на одного человека. Стоимость дешевого калькулятора упала сейчас до 15 долларов, включая корпус, цифровой индикатор, клавиатуру, ба-

Таблица 2

Вычислительная мощность различных ЭВМ, подсчитанная по смеси команд «Гибсон-III» *. Советские ЭВМ

ЭВМ	ЕС 1020	ЕС 1030	ЕС 1040	ЕС 1050	«Минск-32» 20 БЭСМ-6 800**
Тыс. оп/с	10	40	200	300	
IBM 360 серия					
ЭВМ	360/30	360/40	360/50	360/65	360/85
Тыс. оп/с	13	34	110	380	1800
Начало выпуска	1965	1965	1965	1965	1969
Выпущено шт. до 1974 г. [13]	8022	4000	1600	750	12
Ср. стоимость в млн. дол. [13]	0,5	0,9	1,3	2,6	6,8
IBM 370 серия и CDC					
ЭВМ	370/135	370/145	370/155	370/165	CDC 6200
Тыс. оп/с	90	170		1900	740***
Начало выпуска	1972	1971	1971	1971	1965
Выпущено шт. до 1974 г. [13]	14	4	4	3	100
Ср. стоимость в млн. дол. [13]	6	1,0	2,2	4,4	3,1

* Учитывая 32-разрядные операнды.

** Учитывая 48-разрядные операнды (оценка, см. [14]).

*** Учитывая 60-разрядные операнды (оценка ОИЯИ).

тарю и саму микросхему, на которую остается таким образом 3—4 доллара. Микросхема процессора, конечно, более сложна, но выполнена на основе той же технологии, что позволяет ожидать падения их цены в ближайшие 5—6 лет с 200—400 до 20—40 долларов. К такому же выводу приводит сравнение сложности изготовления микросхем памяти и микропроцессоров. Последние содержат 5 тысяч транзисторов против 12 тысяч в микросхеме памяти, и хотя разнотипность транзисторов процессора требует более сложной технологии и последующего тестирования, наблюдаемое удешевление микросхем памяти до 12—15 долларов не может не сказаться на падении цен в следующем пятилетии также и на микропроцессоры [12].

В самое последнее время появились сведения о новых типах микропроцессоров, которые могут работать с тактовой частотой в 125 нс [10, 11], что дает цифру средней производительности в 5—10 миллионов операций в секунду.

Опыт фирмы INTEL показывает, что объем производства средней фирмы с 2000 рабочих и служащих уже сейчас может составить полмиллиона микропроцессоров в год.

Учет вышеприведенных фактов позволяет предположить в ближайшие 5—10 лет бурное распространение микро-ЭВМ, которые смогут, с одной стороны, быстро достичь и превзойти мощность таких ЭВМ, как БЭСМ-6, а с другой — благодаря сравнительно невысокой стоимости, стать доступными не только для больших учреждений, но и для малых фирм, цехов, отделов.

Имеющиеся уже сейчас примеры удачного аппаратного решения вопроса об использовании в качестве машинного языка алгоритмических языков высокого уровня (в ЭВМ В6500, например, АЛГОЛ-60) позволяют также представить себе возможное осуществление на аппаратном уровне как трансляторов, так и операционной системы.

При такой картине развития большие вычислительные комплексы с мощным центральным вычислителем и терминалами пользователей должны потерять свое значение. Структуру вычислительного комплекса большого института (такого, например, как ОИЯИ) составят мощные микро-ЭВМ, работающие непосредственно в местах пользования, но соединенные с большим центральным банком данных с помощью разветвленной коммуникационной сети.

Разумеется, к таким далеким экстраполяциям, особенно в их применении к развитию отечественной вычислительной техники, следует подходить с определенной осторожностью, но пренебрежение всеми весьма существенными факторами, связанными с появлением и распространением микро-ЭВМ, может привести к большим просчетам.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Franson. Calculator-chip business slows.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 22, p. 56.
2. L. Young, T. Bennett, J. Lavell. N-channel MOS technology yields new generation of microprocessors.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 8, p. 88.
3. W. Davidow. INTEL 8080 microprocessor manual.— Intel Corporation. Santa Clara, California, 1974.
4. Motorola joins microprocessor race with 8-bit entry.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 5, p. 29. AMI to make Motorola processor.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 18, p. 25.
5. 4 K RAMs are on schedule.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 18, p. 25 (see p. 12—13 also).
6. W. I. Stanley. Measurement of system operational statistics.— "IBM Syst. J.", 1969, vol. 8, № 4, p. 299.
7. Е. Л. Брусиловский, Е. А. Кошман. Статистические методы расчета производительности вычислительных машин единой системы.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ», 1973, вып. 1, с. 122.
8. В. В. Пржнялковский, Г. Д. Смирнов, Н. А. Мальцев, Р. М. Асцатуров, В. П. Качков. Электронно-вычислительная машина ЕС-1020.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ», 1973, вып. 1, с. 66.
9. J. M. Smith. A review and comparison of certain methods of computer performance evaluation.— "Computer Bulletin.", 1968, vol. 12, № 1, p. 43.
10. J. Rattner, J. C. Cornet and M. F. Hoff. Bipolar LSI computing elements usher in new era of digital design.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 18, p. 89.
11. C. M. Hart, A. Slob and H. E. J. Wulms. Bipolar LSI takes a new direction with integrated injection logic.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 20, p. 111.
12. Signetics, first microprocessor.— "Electronics", 1974, vol. 47, № 18, p. 133.
13. N. Macdonald. World computer census.— "Computers and Automation", 1974, vol. 22, № 7B, p. 120.
14. С. А. Усов, М. Г. Чайковский. Сравнение производительности БЭСМ-6 и ЕС-1050 на некоторых простых задачах.— Препринт № 42. М., ИПМ АН СССР, 1974.

Поступила в редакцию 27 января 1975 г.

УДК 681.142 : 621

В. А. БЕЛОМЕСТНЫХ, В. Н. ВЬЮХИН, А. Н. КАСПЕРОВИЧ

(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ АЦП

Одна из важных задач при создании и исследовании АЦП — разработка методики и устройств их поверки. Если определение статических параметров АЦП, таких, как смещение нуля, интегральная и диф-