

ПОЛНЫЙ ТЕСТ АУ ДЛЯ МАШИНЫ БЭСМ-6

Э. А. Вадова
(Москва)

В В Е Д Е Н И Е

Современные большие вычислительные машины содержат такое количество аппаратуры и так логически сложны, что создание средств проверки их работы становится делом первостепенной важности.

Тесты, существующие до сих пор на наших машинах, обладают, зачастую, существенным недостатком - они не являются полными, т.е. не проверяют все логические условия, заложенные в машину.

Опытная эксплуатация машины БЭСМ-6 ВЦ АН СССР показала, что на этой машине, в силу её сложности, искать ошибки машины на задачах математиков несравненно труднее, чем на старых машинах, например, класса БЭСМ-2. Отсюда ясно, что первым и основным требованием к тестам машины БЭСМ-6 является их полнота.

Это требование может быть удовлетворено, если в качестве исходного материала для составления теста взять логические формулы машины и ввести в тест такие примеры, которые бы проверили правильность функционирования всех устройств машины в соответствии с существующими формулами.

Ввиду отсутствия для данной машины практических средств автоматизации составления тестов, которые существенно упростили бы эту задачу, тест для арифметического устройства БЭСМ-6

был составлен "ручным способом". Ниже приводятся основные методы, которые были применены при составлении теста.

Принцип составления примеров теста

При составлении примеров теста учитывались следующие обстоятельства:

I) логические схемы машины имеют, в основном, вид, указанный на рис. I.

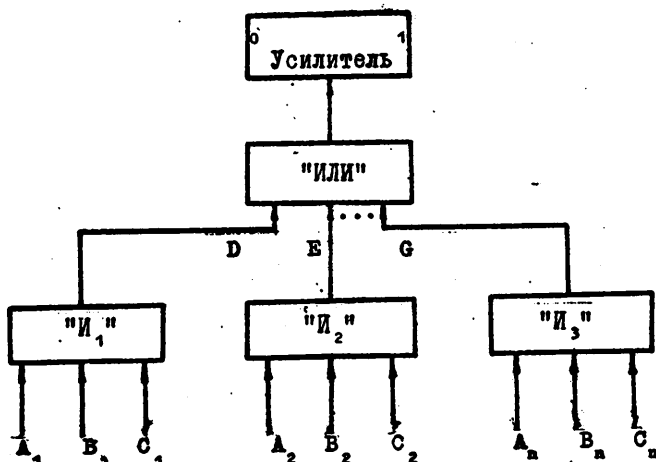


Рис. I

2) Если A_1, B_1, C_1 - входы схемы $И_1$, то необходимо составить примеры, проверяющие следующие четыре комбинации: $A_1 \cdot B_1 \cdot C_1$, $\bar{A}_1 \cdot B_1 \cdot C_1$, $A_1 \cdot \bar{B}_1 \cdot C_1$ и $A_1 \cdot B_1 \cdot \bar{C}_1$. Первая комбинация проверяет срабатывание схемы $И_1$, а остальные три - запрет срабатывания этой схемы по входам A_1, B_1 и C_1 соответственно. Остальные комбинации входов не рассматриваются, так как при них проверяется наличие в схеме сразу двух (или более) неисправностей, что маловероятно.

3) Если D, E, G - входы схемы "ИЛИ", то примеры теста должны проверить следующие комбинации: $\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$, $D \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$, $\bar{D} \cdot E \cdot \bar{G}$ и $\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot G$. Остальные комбинации не рассматри-

зависят, так как двойное срабатывание вентилей исключалось при проектировании.

Из рис. 1 видно, что первое из этих условий проверяется при проверке на запрет срабатывания любой схемы "И", так как эта проверка возможна только при отсутствии сигнала от всех других схем "И", объединяемых схемой "ИЛИ". Остальные три условия эквивалентны срабатыванию каждой из схем "И" при условии, что все другие схемы "И", $i \neq j$, объединенные по выходу, в данный момент не работают.

Таким образом, условия $A_1 \cdot B_1 \cdot C_1$ и $\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$, точно так же, как $A_2 \cdot B_2 \cdot C_2$ и $\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$, а также $A_n \cdot B_n \cdot C_n$ и

$\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$ по выходу неразличимы. То же самое следует сказать об условиях $\bar{D} \cdot \bar{E} \cdot \bar{G}$ и любом из условий $A_1 \cdot B_1 \cdot C_1$, $A_1 \cdot B_1 \cdot C_1$ или $A_1 \cdot B_1 \cdot C_1$. Поэтому при составлении примеров теста принимались во внимание только комбинации входов схем "И" (схема "И" и соответствующий ей диод схемы "ИЛИ" конструктивно расположены в одном блоке).

4) Для диодных вентилей машины БЭСМ-6 проверка на запрет по любому из входов вентиля означает проверку на обрыв (или выгорание) диода, соответствующего данному входу. Из рис. 2 можно уяснить себе, что проверка на сигнал всех вентилей означает, по сути дела, проверку всех диодов на короткое замыкание.

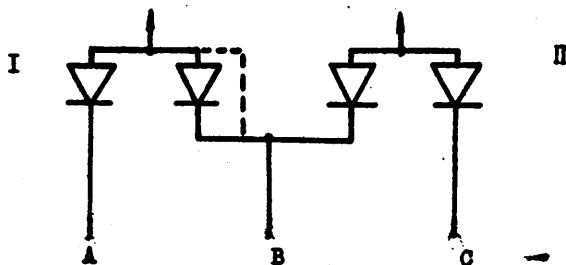


Рис. 2

Действительно, пусть имеются два вентиля, имеющие входы А, В и В, С. Пусть в вентиле I произошло короткое замыкание диода (показано пунктиром). Если вентиль I не работает (вход А имеет низкий потенциал), то вход В тоже будет иметь низкий потенциал (диод А включен в прямом направлении), и срабатывания вентиля II не произойдет. Это обстоятельство будет отмечено в тесте останом на примере, проверяющем вентиль II на срабатывание. Так как в машине практически нет усилителей, которые работали бы только на один вентиль, и одновременное срабатывание всех вентилях, на которые нагружен данный усилитель маловероятно, то можно считать, что проверка на срабатывание всех вентилях есть в то же время и проверка практически всех диодов на короткое замыкание.

5) Принимая во внимание написанное выше, следует отметить, что если в устройстве имеется К вентилях, причем любой i -ый вентиль имеет n_i входов, то число интересующих нас комбинаций на входах [2] равно:

$$N = \sum_{i=1}^K (n_i + 1) = K + \sum_{i=1}^K n_i.$$

В АУ БЭСМ-6 около 1000 усилителей. В среднем, на каждый усилитель работает по 4 трехходовых вентиля, т.е. необходимо рассмотреть около 16000 комбинаций входов. Написать и ввести в тест пример на каждую комбинацию не представляется возможным по двум причинам: а) во-первых, каждый пример, как правило, затрагивает большое количество аппаратуры; б) во-вторых, тест из 1600 примеров был бы очень громоздким и потребовал бы очень большого времени для составления. Поэтому при составлении примера очередной комбинации входов, сначала делалась попытка найти нужную комбинацию в тех примерах, которые уже введены в тест и которые имеют отношение к проверяемой аппаратуре. Для пояснения сказанного рассмотрим формулу [I] для любого разряда промежуточного регистра АУ (PR^a):

$$j_{p-g} PR = [j_{p-g} PR] \cdot c + \underbrace{\{ (+4BP_{\Theta}^1) j_{p-g}^{2} BP \}}_I + \underbrace{\{ (-4BP_{\Theta}^1) j_{p-g}^{2} BP \}}_II + \underbrace{\{ (+24BP_{\Theta}^1)(j-1) j_{p-g}^{2} BP \}}_III \cdot k.$$

Здесь обозначено:

- ВР - входной регистр АУ
- +4ВР - усилитель передачи с ВР-а на ПР прямым кодом.
- +24ВР - усилитель передачи кода с ВР-а на ПР со сдвигом на один разряд влево
- 4ВР - усилитель передачи с ВР-а на ПР обратным кодом.
- С и К - обозначение тактирующих сигналов (синей и красной серии).

Таблица проверочных примеров для любого разряда ПР-а имеет следующий вид:

Наименование усилителя	Вентиль	Примеры
j_{p-g} ПР	$+4ВР \cdot j_{p-g}$ ВР	Сигнал : Сч "Г": Запрет 1: ЛС "Г" с "Г": Запрет 2: Сч "0"
	$-4ВР \cdot \overline{j_{p-g}}$ ВР	Сигнал : ЛС "Г" с "0" Запрет 1: Сч "0" Запрет 2: ЛС "Г" с "Г"
	$+24ВР (j-1)_{p-g}$ ВР	Сигнал: ЛС "0" с "0" Запрет 1: Сч 1010 ...10 и 0101 ...01 Запрет 2: ЛС "0" с "Г"

Из таблицы видно, что один и тот же пример может проверить различные цепи (например, логическое сложение единиц с единицами проверяет как запрет по 1-му входу 1-го вентиля, так и запрет по 2-му входу 2-го вентиля). Поэтому вместо 9-ти примеров для проверки ПР-а в тесте остается только 7. То же самое может произойти не только в пределах одного усилителя, но и в пределах всего теста (например, совершенно очевидно, что "считывание единиц" проверяет на срабатывание не только вентили прямой передачи с ВР-а на ПР, но и определенные вентили сумматора).

Это обстоятельство позволило сократить тест до 300 примеров.

6) Для обеспечения полной проверки на запреты по всем входам зачастую бывает необходимо искусственно создавать сложные логические ситуации в АУ. Поэтому примеры из отдельных операций превращаются в целые группы команд, которые с точки зрения математика-программиста, на первый взгляд, лишены какого-либо смысла. Чтобы пояснить сказанное, рассмотрим еще один пример:

$$УСВ = [УСВ] \cdot c + УСВ \cdot \overline{РПК}_3 \cdot k + \underbrace{\overline{6} \cdot \overline{5} \cdot \overline{4} \cdot 3 \cdot РПК_3 \cdot k}_I$$

УСВ I - это усилитель сложения-вычитания, входит в раздел "коммутатор операций" (КОП), срабатывает по сигналу РПК (разрешение приема команд) при определенной комбинации разрядов регистра операций (РОПа), соответствующей командам 004, 005, 006 и 007. Сигнал УСВ хранится при помощи вентиля внешней обратной связи от момента воздействия сигнала РПК до следующего сигнала РПК.

Рассмотрим, какие нужно написать примеры для проверки вентиля I.

Очевидно, что на сигнал этот вентиль не требует специальной проверки, так как он проверяется при любом сложении. Вход "6" не является здесь логическим входом, он введен для общности во все усилители КОПа, но в данном усилителе он не нужен, так как команды с номером 1001XX (44, 45, 46, 47) в АУ не поступают. Рассмотрим вход "5". Низкий потенциал на этом входе, запрещающий срабатывание вентиля I, будет присутствовать в операциях: 024, 025, 026, 027. Специальный пример на запрет по этому входу тоже не нужен. Это очевидно хотя бы из того, что операция 026 (сдвиг) не входит в группу арифметических команд. Признак этой группы (УСАК) установится в случае ложного срабатывания УСВ и закончит операцию "сдвиг" (установит ИЗОП) по сигналу РПК, который вырабатывается в этой команде рано, когда сами сдвиги еще не начались.

3-й вход вентиля (4) будет иметь низкий потенциал при неизменных остальных входах в операциях 0011XX (например, 014 - изменение знака). Любая операция ИЗ проверит вход "4" на запрет, так как при ложном срабатывании УСВ в этой операции будет происходить выравнивание порядков и передача кода второго числа на сумматор, как при сложении или вычитании.

Обрыв 4-го диода (вход 3 р-д РОП) означает ложное срабатывание УСВ по условию $\overline{6} \cdot \overline{5} \cdot \overline{4} \cdot 3 \cdot РПК_3 \cdot k$. Это условие соответствует командам группы "запись". Так как запись выполняется в

три такта, то выравнивание порядков, вызванное ложным срабатыванием УСВ, не успевает испортить сумматор до записи, тем более, что собственно при записи в сложившейся ситуации "порядок 2-го числа" будет равен - 64 (на входной регистр порядков при записи ничего не принимается), и, следовательно, сдвиги происходили бы на входном регистре, а не на сумматоре. Поэтому для проверки на запрет УСВ по этому входу необходим специальный пример. Оказалось, что можно воспользоваться тем обстоятельством, что команды группы "запись" не портят младшие разряды. Засылаем в РОИ все единицы следующими командами:

```
Сч. IOI      377 ... 77
Ср. 000      000 ... 00
```

Затем:

```
ЗП в любую незанятую ячейку памяти
ВМР (выдача младших разрядов)
Ср. IOI 377...77
```

У "0" на продолжение теста, иначе СТОП.

При данном наборе команд, если одновременно с признаком "ЗП" срабатывает признак УСВ, то ложное выравнивание порядков испортит младшие разряды, что проверяется операцией выдачи младших разрядов и сравнением их содержимого с известным числом.

Проверка запрета срабатывания всех усилителей КОПа по входу РПК вызывает некоторые логические трудности. Все примеры, составленные для этих случаев отличаются одной особенностью: им всем предшествует очень длинное сложение, которое играет роль задержки времени. Это необходимо для того, чтобы по крайней мере три команды успели бы войти в БАК. Для проверки запрета УСВ по входу "РПК" введен такой пример:

```
Сч   I47   277 ... 77 }
АС   I00   I77 ... 77 }  задержка
СД   (Аисп. =    64
Сч   IOI   I77 ... 77
Сч   I00    00 ... 00
Ср   IOI   I77 ... 77
```

Операция "сдвиг" здесь и во всех такого рода примерах используется как длинная операция, которая рано выдает РПК (по ЗЗ СНОПу). По сигналу РПК операция СЧ принимается в КОП, а

АС - в РОП. В КОП операция АС поступать не должна до тех пор, пока не поступит сигнал РПК от команды Сч, но в случае отсутствия запрета со стороны входа "РПК", усилитель УСВ в КОПе срабатывает сразу же, как только в РОПе установится код "сложение", т.е. еще при сдвиге, так как эта операция достаточно длинна. В следующей за сдвигом операция Сч произойдет следующее: число будет передано на сумматор, как при всяком считывании, но УСВ поставит РВП (разрешение выравнивания порядков), РВП запрет РПК по ЗЗ СНОПу. Наличие переносов при вычитании порядков запретит своевременный ИЗОП, в результате число сложится само с собой.

Порядок построения теста

Примеры, составленные по указанному способу, объединены в тест по разделам, которые соответствуют разделам, принятым в формулах АУ БЭСМ-6. Любой раздел теста является самостоятельным куском, т.е. можно начинать практически с любого из них. То же самое следует оказать и о примерах внутри каждого куска. Для каждого примера, в случае неправильного срабатывания, предусмотрен останов, в адресе которого указан номер ячейки начала примера. Передавая управление этой ячейке, можно повторить пример в любом режиме, предусмотренном на машине.

Так как отдельные куски теста оказались значительно длиннее других по времени выполнения, и это оказалось неудобно при простукивании машины на контакты (обой все время приходилось на одни и те же участки), то было предусмотрено выполнение отдельных кусков различное число раз; информация о числе повторений каждого куска засылается в 4-й модификатор перед началом этого участка теста.

Тест вводится в память по обслуживающей программе и занимает вместе с константами ячейки памяти 2000 + 5206. Между кусками в тесте оставлены пустые места, которые должны будут заполняться примерами, выявленными в процессе эксплуатации машины и являющиеся результатом различных режимов, которые могут встретиться при решении задач.

Программа теста снабжена примечаниями к каждому примеру. В примечании указано непосредственное назначение примера. Следует, однако, отметить, что если произошел останов после какого-либо примера, то это не означает, что неисправность в машине именно такого характера, как указано в примечании. При-

мечание означает только то, что указанная неисправность должна быть обязательно обнаружена на данном примере, так как он именно для этого и введен в тест, но эта же неисправность возможно обнаружится и на каком-либо другом примере, который написан совсем для другого случая и поэтому в связи с данной неисправностью не рассматривался.

Тест АУ отлажен и испытан на машине БЭСМ-6 при простукивании на контакты и при внесении ошибки путем замыкания на землю выходов различных усилителей. С помощью этого теста были обнаружены монтажные ошибки при наладке некоторых экземпляров машины БЭСМ-6. Эти ошибки не ловились обычной системой тестов.

Данный тест является полным контролирующим тестом. Он позволяет обнаружить любую логическую ошибку в АУ и локализовать место неисправности. Он не является, однако, диагностическим тестом, так как не указывает места неисправности с точностью до блока, но на основе этого теста можно разработать более подробную диагностику.

Работа над составлением примеров теста проводилась автором в течение 1966 года. Отладка и испытание теста проведены в январе-феврале 1967 года. Тест согласован с разработчиками АУ БЭСМ-6 и введен в систему тестов этой машины.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Формулы АУ БЭСМ-6 (документация, разработанная в ИТМ и ВТ).
2. K.Maling, E.L.Allen. A computer organization and Programming system for Automated maintenance. - IEEE Trans. on Electronic Comput., vol.EC-12, 1963, N 6.