

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. А. ДАРБИՅԱՆ

ОБОБЩЕННАЯ СИГНАТУРА И СПОСОБЫ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

В технике испытаний средств ВТ широкое распространение получил сигнатурный анализ — метод обнаружения и локализации ошибок в готовых изделиях, предложенный [1]. Суть метода заключается в формировании контрольных сумм, содержащих с большой вероятностью след ошибки, с помощью сдвигового регистра с обратными связями по мод 2. При этом для каждой исследуемой точки получаются контрольные суммы — сигнатуры, соответствующие строго заданной достоверности и длины входных тест-векторов.

Испытания многовыводных устройств ВТ (МУВТ) обычно сопряжены с определенными трудностями создания сложной и громоздкой аппаратуры. Формирование при испытаниях МУВТ обобщенной сигнатуры (ОС), содержащей след ошибки, проявившейся хотя бы на одном из выходов МУВТ, позволит значительно сократить оборудование испытательного устройства и практически исключить обработку информации об ошибке.

В работе предложены разные способы формирования ОС для МУВТ, отличающиеся по достоверности, быстродействию и оборудова-

Способы формирования ОС приведены на рис. 1.

1-ый способ — ОСⁿ формируется на n -разрядном последовательном сигнатурном анализаторе САⁿ, последовательным обходом k выходов МУВТ с повторным запуском генератора входных тест-векторов длиной m и сравнением частных сигнатур ЧСⁿ каждого выхода с ОСⁿ с эталонными;

2-ой способ — формирование ЧСⁿ одновременно на всех выходах с помощью k САⁿ, с последующим формированием ОСⁿ на общем САⁿ (сравнение с эталонами возможно как ЧСⁿ, так и ОСⁿ мультиплексированием выходов САⁿ);

3-ий способ — преобразование параллельного кода выходов МУВТ в последовательный с помощью регистра сдвига РС^k и формирование ОСⁿ на САⁿ (сравнение с эталонами ЧСⁿ и ОСⁿ);

4-ый способ — формирование OC^k на k -разрядном параллельном сигнатурном анализаторе $CA_{\text{пр}}^k$ с дальнейшим сжатием на $CA_{\text{сж}}^k$ до OC^n (сравнение OC^n через каждые k тактов и по окончании тест-векторов OC^n):

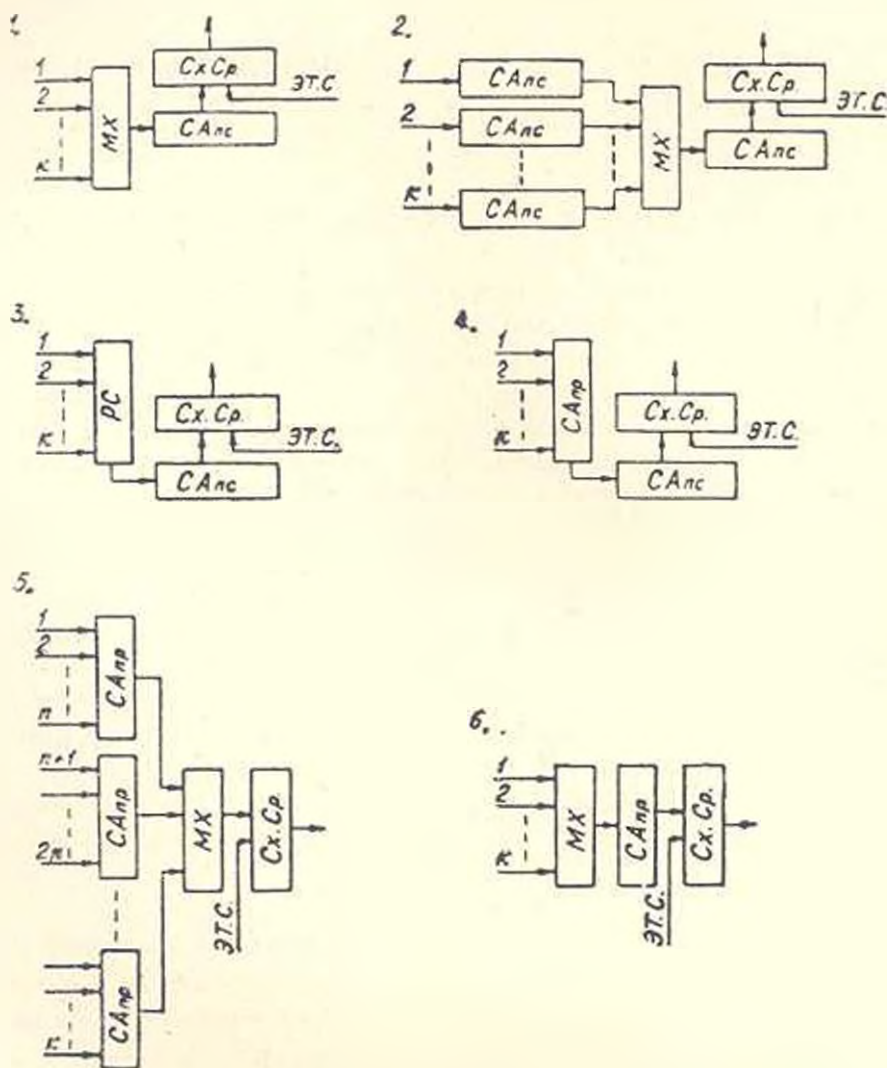


Рис. 1. Различные способы формирования ОС.

5-ый способ — формирование k/n OC^n на k/n анализаторов $CA_{\text{пр}}^k$ (с эталонами сравниваются поочередно все OC^n):

6-ой способ — OC^n формируется поочередной подачей на входы $CA_{\text{пр}}^k$ k/n групп кодов выходив МЭВТ (сравнение с эталоном OC^n).

Для облегчения выбора способа формирования ОС в конкретных применениях найдем математические выражения достоверности, быстродействия и необходимого оборудования для каждого способа.

Время формирования T_i в общем случае определяется длиной входных такт-векторов m (число тактов генератора), периодом тактирующих импульсов генератора t_g , сигнатурного анализатора — t_{CA} , сдвигового регистра t_r и выразится для i -го способа:

$$\begin{cases} T_1 = kmt_i; \\ T_2 = mt_i + knt_{r-1}; \\ T_3 = mt_i + kmt_r; \\ T_4 = mt_r + kt_r; \\ T_5 = mt_i; \\ T_n = k'n \cdot mt_i. \end{cases} \quad (1)$$

Оборудование Q_i сигнатурного анализатора со схемой сравнения и мультиплексирования выразим в 16-выводных корпусах интегральных схем, для чего воспользуемся рис. 2. Количество корпусов CA_n^n и CA_{nr}^n будет, соответственно:

$$\begin{cases} q_{\text{анс}}^* = E\left(\frac{n}{p}\right) + 1; \\ q_{\text{анр}}^n = E\left(\frac{n}{t}\right) + E\left(\frac{n-1}{r}\right) + 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $E\left(\frac{x}{y}\right)$ — ближайшее целое число $A \geq \frac{x}{y}$; p, r, t — соответственно, количество разрядов регистра CA_n , двухразрядных схем сложения по $\text{mod } 2$ и триггеров CA_{nr} в одном корпусе.

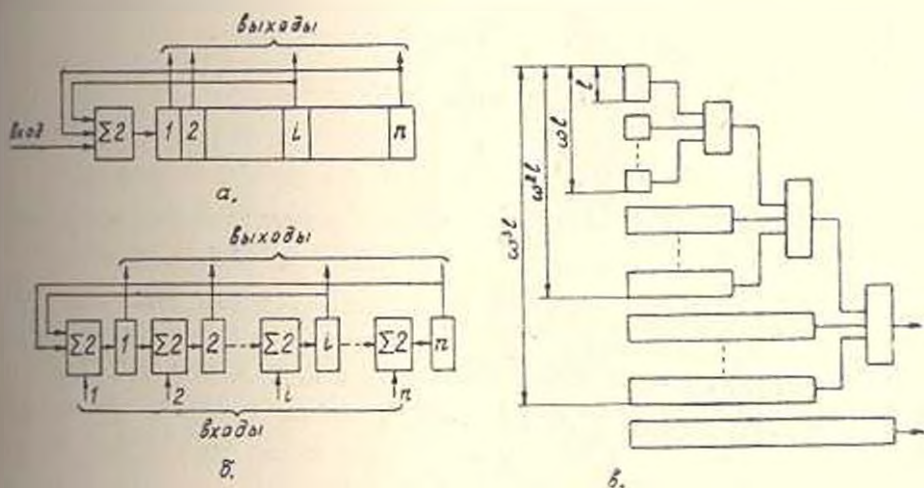


Рис. 2. а — последовательный CA_n ; б — параллельный CA_{nr} ; в — структура CA_{nr} и Me .

При подсчете числа корпусов схемы сравнения Q_{cp} из рис. 2 видно, что при превышении числа контролируемых разрядов количества выходов

одной схемы l увеличивается каскадность, а при превышении количества β -каскадных схем допустимого числа объединений по входу образуется $(\beta + 1)$ каскадная схема. Аналитически оборудование схем сравнения выразится:

$$q_{\text{ср}} = E \left(\frac{S}{\omega^{s-1} l} \right) \sum_{l=0}^{s-1} \omega^l + 1, \quad (3)$$

где $\omega^{s-1} l \leq S < \omega^s l$ — количество двоичных разрядов, охватываемых схемой сравнения.

Оборудование k -разрядного регистра будет:

$$q_{\text{рс}}^k = E \left(\frac{k}{g} \right), \quad (4)$$

где g — число разрядов в одном корпусе РС.

Соответственно, для схемы коммутации на n выходов:

$$q_{\text{МХ}}^{n,n} = n \left[E \left(\frac{n}{f^{i-1}} \right) \sum_{i=0}^{i-1} f^i + 1 \right], \quad (5)$$

где n — число входов в группу, коммутируемой на каждый выход; $f^{i-1} \leq n < f^i$ — количество входов в одном корпусе МХ; $f^{i-1} \leq n < f^i$.

Общее оборудование, выраженное в 16 выводных корпусах, для i -го способа формирования ОС будет:

$$\begin{cases} Q_1 = q_{\text{МХ}}^{k-1} + q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{рс}}^n; \\ Q_2 = (k+1) q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{МХ}}^{k+1} + q_{\text{рс}}^n; \\ Q_3 = q_{\text{рс}}^k + q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{ср}}^n; \\ Q_4 = q_{\text{Анр}}^k + q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{рс}}^n; \\ Q_5 = E \left(\frac{k}{n} \right) q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{МХ}}^{k,n} + q_{\text{рс}}^n; \\ Q_6 = q_{\text{МХ}}^{k,n} + q_{\text{Анр}}^n + q_{\text{ср}}^n. \end{cases} \quad (6)$$

Подстановка (2)–(5) в (6) позволит получить выражения Q_i для конкретных схем и элементов. Например, в 16-разрядном СА с числом входных каналов $k = 100$ на элементах серии К555 для СА можно использовать микросхему К555 ИР16 ($p = 4$) и тогда $q_{\text{Анр}}^{16} = 4$; для СА_{нр} — микросхемы К555 ТВ6 ($l = 2$) и К555 ЛП15 ($r = 4$) и получим: $q_{\text{Анр}}^{16} = 13$, $q_{\text{Анр}}^{100} = 76$; для схемы сравнения с $S = 16$ на микросхеме К555 СП1 ($l = 4$, $\omega = 5$) получим $\omega = 1$ и $q_{\text{ср}} = 5$; для РС на микросхемах К555 ИР16 — $q_{\text{рс}}^{100} = 25$; наконец, для схемы коммутации на микросхемах К555 КП15 ($f = 8$) при $v = n = 16$, $\gamma = 2$ и $\omega = k = 100$, $\gamma = 3$ — соответственно: $q_{\text{МХ}}^{16,1} = 3$ и $q_{\text{МХ}}^{100,1} = 17$. В данном примере все микросхемы имеют 14- и 16-выводные корпуса, следо-

тельно, полученные выше значения q прямо подставляются в (6), в результате чего получим: $Q_1 = 27$; $Q_2 = 527$; $Q_3 = 35$; $Q_4 = 86$; $Q_5 = 113$; $Q_6 = 272$.

Достоверность сигнатурного анализа (вероятность обнаружения ошибки) P для СА определена в [2] путем отождествления вероятности пропуска ошибки с вероятностью появления нулевой сигнатуры:

$$p = 1 - (2^{m-n} - 1)/(2^m - 1) \quad \text{при } m \gg n, \quad p = 1 - 2^{-n}.$$

Применяя тот же прием, определим достоверности P_i для каждого способа:

$$P_1 = 1 - (2^{km-n} - 1)/(2^{km} - 1). \quad (7)$$

Для определения достоверности P_2 примем A_i — событие, обозначающее появление нулевой последовательности ошибок (НПО) на i -м выходе МУВТ; B — событие, обозначающее появление хотя бы одной НПО, хотя бы на одном из выходов МУВТ; C — событие, обозначающее появление хотя бы одной НПО при формировании ОС в целом, тогда $C = B + D$, где D — событие, обозначающее появление НПО при формировании ОС из ЧС.

Сделаем допущение: появление НПО хотя бы на одном из выходов МУВТ означает потерю одной ошибки в ОС.

Из частной теоремы о повторении опытов [3], приняв за число опытов k :

$$P(B) = 1 - |1 - P(A_i)|^k.$$

на основе теоремы сложения вероятностей совместных независимых событий получим:

$$P_2 = 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{2^{m-n} - 1}{2^m - 1} \right)^k \right] \left[1 - \frac{2^{kn-n} - 1}{2^{kn} - 1} \right] + \frac{2^{kn-n} - 1}{2^{kn} - 1}. \quad (8)$$

При третьем способе формирования ОС: $P_3 = P_1$.

Примем: α — событие, обозначающее появление НПО в CA_{np}^k ; β — событие, обозначающее появление НПО в CA_{nc}^k ; γ — событие, обозначающее появление НПО в ОС. Тогда:

$$P(\gamma) = P(\alpha) + P(\beta) - P(\alpha)P(\beta).$$

Аналогично P_4 определим достоверность четвертого способа:

$$P_4 = 1 - \left(\frac{2^{km-n} - 1}{2^{km} - 1} + \frac{2^{k-n} - 1}{2^k - 1} - \frac{2^{km-n} - 1}{2^{km} - 1} \cdot \frac{2^{k-n} - 1}{2^k - 1} \right). \quad (9)$$

Достоверность каждой из $E\left(\frac{k}{n}\right)$ ОС, сформированных по 5-му способу, будет:

$$P_5 = 1 - \frac{2^{nm-n} - 1}{2^{nm} - 1}. \quad (10)$$

Наконец, ОС, полученная по 6-му способу, будет иметь достоверность:

$$P_6 = P_3 = P_1.$$

Если $k \gg n$, $m \gg n$, то (7) — (10) примут вид:

$$\begin{cases} P_1 = P_3 = P_5 = P_6 = 1 - 2^{-n}; \\ P_2 = (1 - 2^{-n})^{k-1}; \\ P_4 = 1 - 2^{-n-1} - 2^{-2n}. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (1), (6), (7) — (11) характеризуют все представленные способы формирования ОС по быстрдействию, оборудованию и достоверности обнаружения ошибки.

Предложенное в работе применение сигнатурного анализа в виде ОС позволит значительно упростить испытания ММВТ путем рационального использования ОС — для оперативной отбраковки изделий и ЧС — для локализации неисправности.

ЕРНИН ММ

4. VI 1983

Ա. Ա. ՊԱՐՏԻՅԱՆ

ԶԵՆԻՏԱՆԵՐԱՅԻՆ ԱՐԿԻՏԵԿՏՈՐԱԿ ԵՎ ՆՐԱ ՊԵՐԱՎՈՐՈՐԴՆԻ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկված է սիգնատուրային վերլուծման՝ պատրաստի սարքում սխալների հայտնաբերման և մեկուսացման նոր մեթոդի ևս մեկ օգտագործումը՝ բնդանրացված սիգնատուրային ձևափոխման օգնությամբ: Հաշվիչ տեխնիկայի բուլգմալք սարքերի փորձարկման համար շարադրված են բնդանրացված սիգնատուրայի ձևափոխման եղանակները: Ուսացվել են արտահայտություններ արագագործության և հաջատարության համար, ինչպես նաև հաշվարկվել է սարքափորումների ծախսը ամեն մի եղանակի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Frohwerk A.* Signature Analysis: A New Digital Field Service Method. — *Hewlett Packard Journal*, 1977, May, v. 28, № 4, p. 2-8.
2. *Гордон, Надеин.* Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатиричных ключевых кодов. — *Электроника*, 1977, № 5, с. 23-25.
3. *Бенедикт Е. С.* Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с.