УДК 681.326.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ И ПОИСКЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ

В. П. ЧИПУЛИС

(*Владивосток*)

Излагаются методы минимизации троичных таблиц функций неисправностей, построенных с учетом факторов, вызывающих неопределенность значений сигналов, и способы контроля и поиска неисправностей дискретных устройств с памятью с использованием этих таблиц.

В дискретных устройствах с памятью значения выходных сигналов при некоторых проверках тестовой последовательностью не могут быть определены однозначно до эксперимента с устройством. Наиболее распространенными причинами неопределенности являются следующие: неопределенность начального состояния элементов памяти; появление «состязания» сигналов; подача комбинаций сигналов, на которых состояние элементов памяти не определено.

Эти причины приводят к появлению неопределенности как в исправном, так и неисправном устройстве.

Учет факторов, вызывающих неопределенность, необходим для получения достоверных результатов при контроле и поиске неисправностей устройства. Рассмотрим некоторые задачи, связанные с использованием диагностической информации (ДИ) при проведении диагностических экспериментов над дискретным устройством с памятью. Здесь под ДИ понимается информация о поведении исправного и неисправных устройств, полученная на математической модели с учетом факторов, вызывающих неопределенность. При этом информация задается относительно контрольных точек (выходов) устройства, и сигнал на каждом выходе может принимать значение 0, 1 или x, где x — неопределенное значение сигнала.

Рассмотрим произвольные дискретные устройства с множеством $W=\{w_1, \ldots, w_m\}$, доступных для измерения выходов. Предполагается, что устройство имеет только одну из множества $S=\{s_1, \ldots, s_r\}$ неисправностей. Будем считать вероятность появления каждой из неисправностей равной $1/r$. Пусть известно поведение устройства при каждой неисправности s_i на последовательности $E=e_1, \ldots, e_n$ элементарных проверок, полученное на математической модели устройства.

Воспользуемся в качестве ДИ таблицей функций неисправностей (ТФН). Строки ТФН соответствуют элементарным проверкам. Под исправное и каждое неисправное устройство отводится m (по числу выходов) столбцов. Совокупность столбцов для исправного устройства (устройства с неисправностью s_i) назовем матрицей M_0 исправного устройства (матрицей M_i устройства с неисправностью s_i). В клетке на пересечении j-го столбца и l-й строки матрицы M_i проставляется значе-

ние α_{ijl} сигнала выхода w_j устройства с неисправностью s_i на проверке e_l тестовой последовательности E.

Заметим, что результат проверки устройства (как исправного, так и с неисправностью) всегда будет полностью определенным, т. е. значение сигнала на любом выходе не равно x. Будем представлять результаты проверки устройства также в виде матриц, которые обозначим, в отличие от матриц, полученных с помощью модели, через $\tilde{M}_0$ для исправного и $\tilde{M}_1, \ldots, \tilde{M}_r$ для неисправных устройств. Матрицу, соответствующую результату проверки устройства, для которого неизвестно исправно оно или нет, обозначим через $\tilde{M}_x$. Очевидно, что каждый элемент матрицы $\tilde{M}_x$ также имеет определенное значение (0 или 1).

Таблица 1

	0	1	x
0	0	ϕ	0
1	ϕ	1	1
x	0	1	x

Обозначим через M_i число возможных двоичных матриц, получаемых из $|M_i|$ путем фиксации символов x константами 0 и 1. Очевидно, что $|M_i|=2^k$, где k — число символов x в матрице M_i. $|M_i|$ определяет число возможных результатов проверки при наличии в устройстве неисправности s_i. В дальнейшем будем считать вероятность появления любой из матриц M_i при наличии в устройстве неисправности s_i, равной $1/|M_i|$.

Прежде чем перейти к определению проверки неисправности устройства, введем операцию пересечения матриц ($\cap$-операцию). Пусть имеется две матрицы $A=\|a_{ij}\|$ и $B=\|b_{ij}\|$, каждая из которых содержит n строк и m столбцов. Результатом пересечения матриц A и B является матрица $C\,(C=A\cap B)$, элементы c_{ij} которой определяются $\cap$-операцией над a_{ij} и b_{ij}, заданной табл. 1.

Будем говорить, что

1) $C=A\cap B=\phi$, если существует $c_{ij}=\phi$,

2) $A\subset B$ (A принадлежит B), если A может быть получена из B путем фиксации символов x матрицы B константами 0 и 1.

Например,

$$C=\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & x \end{vmatrix} \cap \begin{vmatrix} 1 & x \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \phi & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = \phi,$$

так как $c_{11}=\phi$; $A\subset B$, где

$$A=\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & x \end{vmatrix}, \quad B=\begin{vmatrix} x & 1 \\ 1 & x \end{vmatrix},$$

так как A может быть получена из B путем придания b_{11} значения 0.

Заметим, что $\tilde{M}_0\subseteq M_0$ и $\tilde{M}_i\subseteq M_i$, поскольку $M_0(M_i)$ задает все возможные варианты, которые могут быть получены при проверке исправного устройства (устройства с неисправностью s_i), а $\tilde{M}_0(\tilde{M}_i)$ — конкретный результат проверки.

С использованием $\cap$-операции над матрицами сформулируем определение проверки неисправности следующим образом.

Неисправность s_i устройства проверяется последовательностью $E=e_1, \ldots, e_n$, если $M_0\cap\tilde{M}_i=\phi$.

Рассмотрим для примера устройство, ТФН которого приведена в табл. 2 ($r=9$, $m=3$, $n=4$).

Определим проверку неисправности s_5 последовательностью $E=e_1$, e_2, e_3, e_4 ТФН:

$$M_0 \cap M_5 = \begin{vmatrix} 1 & x & 1 \\ 0 & x & 1 \\ x & 0 & 0 \\ 1 & 1 & x \end{vmatrix} \cap \begin{vmatrix} 1 & x & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & x \\ x & 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & x & 1 \\ \phi & 0 & \phi \\ 1 & \phi & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \phi.$$

Так как $M_0 \cap M_5 = \varnothing$, то неисправность s_5 проверяется последовательностью. E. При этом s_5 проверяется на e_2 по выходам w_1 и w_3 и на e_3 по выходу w_2.

Пусть последовательность $E = e_1, \ldots, e_n$, указанная в ТФН, проверяет все неисправности устройства. Тогда проверку и поиск неисправностей с использованием ТФН естественно проводить следующим образом. Устройство проверяется последовательностью E и фиксируется результат проверки в виде матрицы $\widetilde{M}_x$. Если $\widetilde{M}_x \subseteq M_0$, то устройство исправно. В противном случае выполняется поиск неисправностей. Для этого поочередно определяется принадлежность $\widetilde{M}_x$ к матрицам $M_1, \ldots, M_r$. Неисправности, матрицам которых принадлежит $\widetilde{M}_x (\widetilde{M}_x \subseteq M_i)$, включаются в список подозреваемых неисправностей (СПН).

Таблица 2

	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9
e_1	$1x1$	$x11$	$0x0$	$10x$	$11x$	$1x1$	$0x0$	$00x$	$x1x$	$00x$
e_2	$0x1$	000	101	010	000	100	$1x1$	$11x$	$10x$	$11x$
e_3	$x00$	$1xx$	$01x$	$1x1$	$xx1$	$11x$	$00x$	$0x1$	$xx0$	$0x1$
e_4	$11x$	110	$x0x$	$0x1$	010	$x10$	$x0x$	$xx0$	111	$xx0$

По ТФН (табл. 2) можно установить, что все неисправности устройства проверяются тестовой последовательностью $E = e_1, \ldots, e_4$. Пусть в результате проверки устройства получена матрица

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Так как $\widetilde{M}_x \subset M_0$, то устройство исправно.

Пусть результатом проверки устройства является матрица

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Так как $\widetilde{M}_x \not\subseteq M_0$, то устройство неисправно.

Определяя принадлежность $\widetilde{M}_x$ к M_i $(i = 1, 2, \ldots, 9)$, получим

$$\widetilde{M}_x \subset M_6,\ M_x \subset M_7,\ M_x \subset M_9,\ \widetilde{M}_x \not\subseteq M_i\ (i = 1, 2, 3, 4, 5, 8).$$

Следовательно, в устройстве есть одна из трех неисправностей s_6, s_7, s_9.

Отметим одну существенную особенность поиска неисправностей с использованием троичной ТФН. Она заключается в том, что при наличии в устройстве неисправности s_i результат диагноза СПН не является однозначным и зависит от конкретного результата проверки. Предположим в устройстве, рассматриваемом в примере, имеется неисправность s_6. Если в результате проверки устройства будет получена, например, матрица

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

то в СПН включится только неисправность s_6, если же результатом проверки явится матрица

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

то СПН составят неисправности s_6, s_7, s_9.

Назовем неисправности s_i и s_j различимыми, если $M_i \cap M_j = \phi$; условно различимыми, если $M_i \cap M_j \neq \phi$, $M_i \neq M_j$; неразличимыми, если $M_i = M_j$.

Примером различимых неисправностей являются неисправности s_7 и s_1; условно различимых — s_7 и s_6, неразличимых s_7 и s_9. Введенные определения устанавливают на последовательности E различимость неисправностей ТФН до эксперимента с устройством. При этом неисправности условно различимые могут либо различаться, либо нет в результате проведения диагностического эксперимента. Например, условно различимые неисправности s_6 и s_7 не различаются (попадут в один СПН), если в результате проверки устройства будет получена матрица

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

и различаются, если

$$\widetilde{M}_x = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

так как в этом случае в СПН попадает только неисправность s_6.

Обозначим через $S_1, \ldots, S_r$ списки подозреваемых неисправностей, получаемые в результате диагноза при наличии в устройстве неисправностей $s_1, \ldots, s_r$ соответственно. Определим вероятность m_{ij} включения неисправности s_i в СПН S_j. Если $j=i$, то, очевидно, $m_{ij}=m_{ii}=1$, т. е. s_i всегда войдет в S_i. Если неисправность s_i неразличима с s_j, то в этом случае также s_i всегда войдет в S_j, т. е. $m_{ij}=1$. Если s_i различима с s_j, то s_i не войдет в S_j, т. е. $m_{i,j}=0$. Если s_i условно различима с s_j, то s_i войдет или не войдет в S_j в зависимости от результата проверки. При этом вероятность включения s_i в S_j равна (при условии равной вероятности получения любого результата из M_j)

$$m_{ij} = \frac{|M_i \cap M_j|}{|M_j|}. \tag{1}$$

Выражение (1) справедливо для всех $1 \leqslant i, j \leqslant r$. Действительно, $m_{ij}=1$ при $i=j$. Если s_i различима с s_j, то $M_i \cap M_j = \phi$ и, следовательно, $m_{ij}=0$. Если s_i неразличима с s_j, то $M_i \cap M_j = M_j$ и $m_{ij}=1$.

Исходя из (1) определим среднее число включений ν_i неисправности s_i во все СПН $S_1, \ldots, S_r$ следующим образом:

$$\nu_i = \sum_{j=1}^{r} m_{ij}. \tag{2}$$

Вычислим значение ν_7. Неисправности s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_8 различимы с s_7. Поэтому $m_{71}=m_{72}=m_{73}=m_{74}=m_{75}=m_{78}=0$. Неисправность s_9 неразличима с s_7. Следовательно, $m_{79}=m_{77}=1$. Неисправность s_6 условно различима с s_7,

$$m_{76}=|M_7 \cap M_6|/|M_6| \approx 0{,}06,$$

$$\nu_7=\sum_{j=1}^{9} m_{7j} \approx 2{,}06$$

В качестве критерия точности диагноза будем использовать разрешающую способность диагноза R, которую определим следующим образом:

$$R=\frac{1}{r}\sum_{i=1} \nu_i. \tag{3}$$

Количественно R равно среднему числу неисправностей в одном СПН. Действительно, $\sum_{i=1}^{r} \nu_i$ есть среднее число неисправностей во всех СПН, а $\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r} \nu_i$ — среднее число неисправностей в одном СПН. При $R=1$ СПН неисправного устройства всегда содержит только одну неисправность (предельная точность диагноза), при $R=r$ в СПН неисправного устройства входят все неисправности (неисправности не различаются). Следовательно, с уменьшением величины R улучшается разрешающая способность диагноза (точность диагноза).

Для рассматриваемого примера $\nu_1=\nu_2=\nu_3=\nu_4=\nu_5=\nu_8=1$, $\nu_6=1{,}125$, $\nu_7=\nu_9=2{,}06$,

$$R={}^1/_9(1+1+1+1+1+1{,}125+2{,}06+1+2{,}06)=1{,}25.$$

Аналогичное определение разрешающей способности диагноза применительно к двоичным таблицам неисправностей использовалось в [1, 2]. Нетрудно видеть, что R зависит от последовательности проверок E, диагностической информации и алгоритма поиска неисправностей. В дальнейшем будем считать последовательность проверок и алгоритм поиска неисправностей заданными.

Назовем таблицей функций неисправностей выходов (ТФНВ) такую таблицу, которая отражает поведение устройства при каждой неисправности только по одному выходу. Очевидно, число таких таблиц достаточно велико (m^r, где m — число выходов, r — число неисправностей устройства), а объем каждой из них в m раз меньше объема ТФН. При проведении диагностического эксперимента будем использовать ТФНВ в качестве ДИ.

Обозначим через $M_i(w_j)$ j-й столбец матрицы M_i, через $\tilde{M}_x(w_j)$ — j-й столбец матрицы $\tilde{M}_x$.

Пусть в устройстве имеется неисправность ($\tilde{M}_x \not\subseteq M_0$). Предположим, что каждой неисправности устройства взаимно-однозначно поставлен в соответствие определенный выход. При этом получим некоторую ТФНВ, одна из них представлена в табл. 3. Будем определять СПН следующим образом. Определим принадлежность $\tilde{M}_x(w_1)$ ко всем $M_i(w_1)$, содержащимся в ТФНВ. Неисправности s_i, для которых $\tilde{M}_x(w_1) \subseteq M_i(w_1)$, включим в СПН. Аналогично определим неисправности по части ТФНВ вто-

рого выхода, третьего выхода и т. д. и занесем их также с СПН. Получим суммарный СПН. Пусть, например, в устройстве имеется неисправность s_5 и при проверке получен результат

$$\tilde{M}_x = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Тогда по первому выходу (табл. 3) в СПН занесутся неисправности s_5 и s_8, по второму — s_4, по третьему — s_1. Суммарный СПН составят неисправности s_1, s_4, s_5, s_8.

Поставим следующую задачу. Необходимо построить такую ТФНВ, которая при сформулированном выше алгоритме диагноза определяет минимальное значение величины R (максимальную точность диагноза). Решению этой задачи применительно к двоичным таблицам посвящены работы [1, 2].

Таблица 3

	w_1			w_2			w_3		
	$M_3(w_1)$	$M_5(w_1)$	$M_8(w_1)$	$M_2(w_2)$	$M_4(w_2)$	$M_7(w_2)$	$M_1(w_3)$	$M_6(w_3)$	$M_9(w_3)$
e_1	1	1	x	x	1	0	1	0	x
e_2	0	1	1	0	0	1	0	1	x
e_3	1	1	x	1	x	x	x	x	1
e_4	0	x	1	0	0	x	0	x	0

Обозначим через $\nu_1(w_j)$ среднее число включений неисправности s_i во все СПН $S_1, \ldots, S_r$ по ТФНВ, содержащей $M_i(w_j)$. Аналогично (2) значение $\nu_i(w_j)$ определяется, исходя из $M_1(w_j), \ldots, M_r(w_j)$, по выражению

$$\nu_i(w_j) = \sum_{l=1}^{r} m_{il}(w_j), \tag{4}$$

где $m_{il}(w_j)$ — вероятность включения s_i в СПН S_l по ТФНВ, содержащей $M_i(w_j)$.

Вычислим, например, $\nu_7(w_1)$. Неисправности s_1, s_3, s_4, s_5 различимы с s_7 по выходу w_1. Поэтому $m_{71}(w_1) = m_{73}(w_1) = m_{74}(w_1) = m_{75}(w_1) = 0$. Неисправности s_2, s_6, s_9 неразличимы с s_7 по выходу w_1. Следовательно, $m_{72}(w_1) = m_{76}(w_1) = m_{79}(w_1) = m_{77}(w_7) = 1$. Неисправность s_8 условно различима с s_7 по выходу w_1,

$$m_{78}(w_1) = \frac{|M_7(w_1) \cap M_8(w_1)|}{|M_8(w_1)|} = 0{,}25,$$

$$\nu_7(w_1) = \sum_{l=1} m_{7e}(w_1) = 4{,}25.$$

Исходя из ТФН, построим матрицу A. Строки A соответствуют выходам устройства, столбцы — неисправностям. В клетке на пересечении i-го столбца и j-й строки проставим значение $\nu_i(w_j)$. Матрица A, построенная для устройства с ТФН табл. 2, приведена в табл. 4. Очевидно, что минимальный элемент i-го столбца матрицы A определяет для неисправности s_i выход w_j в ТФНВ, так как при этом среднее число включений неисправности s_i во все СПН будет минимальным. (Если в i-м столбце несколько одинаковых элементов, имеющих минимальное значение, выбирать можно любой.)

Таблица 4

1	4,25	1,5	2	1,25	4,25	4,25	3,5	4,25
3,5	1	3,25	3,5	2,5	1,75	3,25	3,5	3,25
3	2,75	1	3	3	2,75	4,5	1,5	4,5

Таблица 5

	w_1			w_2				w_3	
	$M_1(w_1)$	$M_4(w_1)$	$M_5(w_1)$	$M_2(w_2)$	$M_6(w_2)$	$M_7(w_2)$	$M_9(w_2)$	$M_3(w_3)$	$M_8(w_3)$
e_1	x	1	1	x	x	0	0	x	x
e_2	0	0	1	0	x	1	1	0	x
e_3	1	x	1	1	0	x	x	1	0
e_4	1	0	x	0	0	x	x	1	1

Разрешающая способность диагноза R, получаемая по найденной ТФНВ, равна сумме значений минимальных элементов каждого столбца, деленной на число столбцов матрицы A. Для рассматриваемого примера построенная ТФНВ приведена в табл. 5.

Разрешающая способность диагноза по данной ТФНВ равна

$$R={}^1/_9(1+1+1+2+1{,}25+1{,}75+3{,}25+1{,}5+3{,}25)=1{,}77.$$

Пусть в устройстве имеется неисправность s_5 и при проверке был получен результат

$$\tilde{M}_x=\begin{vmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 0 & 0\\ 1 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 0\end{vmatrix}.$$

Определим СПН по табл. 5. По первому выходу в СПН занесется неисправность s_5, а по второму и третьему не включится ни одна неисправность. Следовательно, в результате диагноза будет указана неисправность s_5. Напомним, что при этом же результате проверки СПН, найденный по табл. 3, содержал неисправности s_1, s_4, s_5, s_8.

Таблица 6

	0	1	x
0	0	1	x
1	1	0	x
x	x	x	x

В заключение отметим одну особенность, подчеркивающую преимущество использования ТФН перед ТН (таблицей неисправностей) при поиске неисправностей. Исходя из ТФН, построим ТН. Строки ТН, так же как и ТФН, соответствуют проверкам последовательности $E=e_1, \ldots, e_n$, столбцы — неисправностям устройства. Под исправное и каждое неисправное устройства в ТН отводится m столбцов (по числу выходов). Совокупность столбцов исправного устройства (устройства с неисправностью s_i) назовем матрицей N_0 исправного устройства (матрицей N_i устройства с неисправ-

Таблица 7

	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9
e_1	$0x0$	$xx0$	$1x1$	$0xx$	$0xx$	$0x0$	$1x1$	$1xx$	xxx	$1xx$
e_2	$0x0$	$0x1$	$1x0$	$0x1$	$0x1$	$1x1$	$1x0$	$1xx$	$1xx$	$1xx$
e_3	$x00$	xxx	$x1x$	$xx1$	$xx1$	$x1x$	$x0x$	$xx1$	$xx0$	$xx1$
e_4	$00x$	$00x$	$x1x$	$1xx$	$10x$	$x0x$	$x1x$	xxx	$00x$	xxx

ностью s_i). В клетке матрицы N_i ($i=0, 1, \ldots, r$) на пересечении j-го столбца и l-й строки проставим значение

$$\gamma_{ijl}=\alpha_{0jl}\nabla\alpha_{ijl},$$

где операция ∇ задана в табл. 6.

ТН для устройства, рассматриваемого в примере, приведена в табл. 7. Здесь 1 означает проверку неисправности (несовпадение значений α_{0jl} и α_{ijl}), 0 — отсутствие проверки (совпадение значений α_{0jl} и α_{ijl}), x — неопределенность (значение α_{0jl} и (или) α_{ijl} равно x).

Из рассмотрения ТФН, ТН и табл. 6 нетрудно видеть, что:

1) неисправности, различимые в ТН по j-му выходу на l-й проверке, в ТФН всегда различимы по этим же координатам,

2) неисправности, различимые в ТФН по j-му выходу на l-й проверке, в ТН различимы по этим же координатам (j, l) лишь в том случае, если $\alpha_{0jl}\neq x$.

Следовательно, различимость неисправностей по ТН хуже, чем по ТФН. Так, разрешающая способность диагноза, определенная по табл. 7, равна

$$R={}^1/_9(1+1{,}125+2+1{,}5+1{,}06+1{,}125+3+1{,}5+3)=1{,}7$$

и лишь незначительно лучше разрешающей способности по ТФНВ в табл. 5.

Поступила в редакцию
16 сентября 1974 г.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Шаршунов С. Г.* Особенности диагноза технического состояния многовыходных объектов с использованием таблиц неисправностей. Автоматика и телемеханика, № 12, стр. 161–169, 1973.
2. *Чипулис В. П.* Методы минимизации разрешающей способности диагноза и диагностической информации. Автоматика и телемеханика, № 3, стр. 133–141, 1975.

THE USE OF DIAGNOSTICS DATA IN MONITORING OF AND SEARCH FOR FAULTS OF SAMPLED DATA CIRCUITS WITH DUE REGARD FOR POSSIBLE UNCERTAINTY IN THE VALUES OF SIGNALS

V. P. ČHIPULIS

The paper is concerned with a method for minimization of ternary of fault function tables; the tables recognize factors causing uncertainty in the values of signals. Ways to monitor and look for faults in sampled-data circuits with memory with the use of those tables are described.