

Диагностика многошинных систем коммутации

В.А.Гармаш

Институт проблем передачи информации РАН, Москва, Россия

Поступила в редколлегию 20.07.2003

Аннотация—Излагаются способы диагностики двухзвенных систем коммутации. Определяются все коммутационные элементы, не работающие на замыкание и на размыкание. Рассматриваются два способа определения неисправностей - при использовании для диагностики двух шин и при использовании одной диагностической шины.

Обеспечение надежной работы систем коммутации неразрывно связано с организацией и проведением ее технической диагностики. Различные аспекты определения неисправностей рассмотрены для случая одиночного коммутатора [1], многокаскадных схем [2], систем коммутации, входящих в состав СБИС [3] и др.

Рассматриваются две схемы диагностики двухзвенных коммутационных устройств (многошинных систем передачи данных). В схеме 1-го типа для диагностики предусмотрено использование двух шин, например, с номерами 1 и B , каждая из которых имеет полюс (вход-выход), к которому подключен блок диагностирования. В этой схеме в качестве элементарной понимается проверка прохождения или непрохождения сигнала между полюсами, посланного диагностическим блоком через схему при заданном состоянии коммутационных элементов.

В схеме 2-го типа для диагностики коммутационного устройства используется лишь одна контрольная шина, например, с номером 1, к которой подключается блок диагностирования. В качестве элементарной проверки считается факт возвращения или невозвращения контрольного сигнала на блок диагностики, пославшего этот сигнал. В этой схеме предполагается, в отличие от схемы 1-го типа, что входы-выходы самой коммутационной схемы содержат элемент памяти, а проверка работы схемы происходит по тактам.

Определяются два вида неисправностей, которые диагностируются с помощью рассматриваемой схемы: случай несрабатывания на замыкание коммутационного элемента, когда на него подан управляющий сигнал (“разрыв”), и случай несрабатывания на размыкание под действием сигнала управления (“короткое замыкание”).

1. Схема диагностики 1-го типа.

Обозначим коммутационный элемент коммутационной схемы между входом- выходом с номером i и шиной с номером k через (i, k) . Для создания при каждом акте диагностики цепочки из набора включенных и выключенных коммутационных элементов определим два подмножества R_1 и R_2 , образованных коммутационными элементами схемы:

$$R_1 = \left\{ (i, k) : i = 1, 2, \dots, \frac{M}{2}, k = 1, 2, \dots, \frac{B}{2} \right. \\ \left. \text{и } i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, k = \frac{B}{2}, \dots, B \right\}, \\ R_2 = \left\{ (i, k) : i = 1, 2, \dots, \frac{M}{2}, k = \frac{B}{2} + 1, \dots, B \right. \\ \left. \text{и } i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, k = 1, 2, \dots, \frac{B}{2} \right\}.$$

Выбор этих подмножеств осуществлен с таким расчетом, чтобы каждый элемент с номером (i, k) принадлежал одному из подмножеств R_1 и R_2 . Кроме того, каждая цепь, соединяющая диагностирующие шины 1 и B , содержит элементы из R_1 и R_2 .

Процесс диагностики производится следующим образом.

Проверка коммутационной схемы на несрабатывание. На все коммутационные элементы, принадлежащие множеству R_1 , подается сигнал управления на размыкание, а на все коммутационные элементы, принадлежащие множеству R_2 , сигнал управления на замыкание. Проверяется прохождение сигнала между шинами 1 и B . Если среди элементов, принадлежащих подмножеству R_1 есть коммутационный элемент, не сработавший на размыкание, то вероятность того, что сигнал между шинами не проходит, крайне мала и оценивается сверху величиной $4\left(\frac{2m}{4}\right)^{\frac{B}{2}} : \left(\frac{B}{2}\right)!$ [2], где m - математическое ожидание числа коммутационных элементов, не сработавших на замыкание, которое предполагается значительно меньшим 1. Поэтому если сигнал между шинами не проходит, считается, что все коммутационные элементы подмножества R_1 сработали на размыкание. Если же сигнал проходит, то это достоверно означает, что имеется неисправный на размыкание элемент, содержащийся в R_1 . Локализация неисправности производится разбиением множества коммутационных элементов, через которые проходит сигнал после команды на их размыкание. Таким же способом осуществляется проверка на размыкание коммутационных элементов, входящих в состав подмножества R_2 .

Рассмотрим в качестве примера более подробно первый шаг локализации неисправности. Пусть, например, после команды на размыкание всем коммутационным элементам из R_1 сигнал проходит, а после команды на замыкание всем коммутационным элементам из R_2 сигнал не проходит. Это значит, что все коммутационные элементы в R_1 срабатывают на размыкание, а в R_2 имеется хотя бы один дефектный элемент. Можно заметить, что подмножество R_1 является объединением четырех попарно непересекающихся подмножеств H_1, H_2, H_3 и H_4 :

$$\begin{aligned}
 H_1 &= \{(i, k) : i = 1, 2, \dots, \frac{M}{4}, k = 1, 2, \dots, \frac{B}{4} \text{ и} \\
 &\quad i = \frac{M}{4} + 1, \dots, \frac{M}{2}, k = \frac{B}{4} + 1, \dots, \frac{B}{2}\} \\
 H_2 &= \{(i, k) : i = 1, 2, \dots, \frac{M}{4}, k = \frac{B}{4} + 1, \dots, \frac{B}{2} \text{ и} \\
 &\quad i = \frac{M}{4} + 1, \dots, \frac{M}{2}, k = 1, 2, \dots, \frac{B}{4}\} \\
 H_3 &= \{(i, k) : i = \frac{M}{2} + 1, \dots, \frac{3M}{4}, k = \frac{B}{2} + 1, \dots, \frac{3B}{4} \text{ и} \\
 &\quad i = \frac{3M}{4} + 1, \dots, M, k = \frac{3M}{4} + 1, \dots, B\} \\
 H_4 &= \{(i, k) : i = \frac{M}{2} + 1, \dots, \frac{3M}{4}, k = \frac{3B}{4} + 1, \dots, B \text{ и} \\
 &\quad i = \frac{3M}{4} + 1, \dots, M, k = \frac{B}{2} + 1, \dots, \frac{3B}{4}\}.
 \end{aligned}$$

Введем в рассмотрение еще два множества коммутационных элементов Z_1 и Z_2 :

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \{(i, k) : i = 1, \dots, \frac{M}{2}, k = \frac{B}{2} + 1, \dots, B \text{ и} \\
 &\quad i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, k = 1, \dots, \frac{B}{4}\} \\
 Z_2 &= \{(i, k) : i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, k = 1, \dots, \frac{B}{2} \text{ и}
 \end{aligned}$$

$$i = 1, \dots, \frac{M}{2}, k = \frac{3B}{4}, \dots, B\}.$$

Каждый коммутационный элемент множества H_1 входит в цепь, соединяющую диагностирующие шины, которые, кроме него, не содержат коммутационных элементов из H_1 и Z_1 . Поэтому если после команды на размыкание коммутационных элементов множеств H_1 и Z_1 и на замыкание остальных коммутационных элементов сигнал между диагностирующими шинами не проходит, то полагаем, что все коммутационные элементы из H_1 выполнили управляющую команду на размыкание. Если же сигнал пришел, то в H_1 имеется коммутационный элемент, не сработавший на размыкание. В Z_1 такого элемента не может быть, так как Z_1 является подмножеством R_2 . Проверка множеств H_2, H_3, H_4 проводится аналогичным образом. Если неисправный элемент оказался в множестве H_i , то в H_i проводится второй шаг локализации, строя при этом соответствующую систему подмножеств.

Если в схеме нет коммутационных элементов, несрабатывающих на размыкание, то для установления этого факта достаточно двух элементарных проверок. Если в схеме имеется только один такой коммутационный элемент, то для его обнаружения и локализации требуется не более $2\log BM$ элементарных проверок.

Проверка срабатывания коммутационных элементов на замыкание.

Для этого необходимо построить множество Γ проверочных цепей $L_i, i = 1, 2, \dots, r$, соединяющих диагностические шины и содержащие в совокупности все коммутационные элементы схемы. Если после команды на замыкание всех коммутационных элементов цепи L_i и размыкание всех остальных, сигнал не проходит, то хотя бы один коммутационный элемент цепи L_i не сработал на замыкание. Если сигнал прошел, то считается, что все коммутационные элементы цепи L_i сработали на замыкание. Множество Γ удобно строить из r цепей, каждая из которых при четном B содержит B коммутационных элементов, а при B нечетном - $B + 1$ коммутационных элементов. Локализация на срабатывание коммутационных элементов проводится дихотомией цепи. Если в цепи нет коммутационных элементов, не сработавших на замыкание, то достаточно выполнить M элементарных проверок. Если такой элемент в схеме один, то для его обнаружения и локализации требуется не более, чем $M + 2\log B$ элементарных проверок.

2. Рассмотрим один из вариантов организации диагностирования многошинной системы 2-го типа.

Предполагается, что диагностирующий блок, как и вся схема в целом, работает по тактам и выполняет следующие операции: а) дает команды на замыкание и размыкание любых коммутационных элементов схемы, б) на основе возвращения или невозвращения контрольного сигнала делает заключение о наличии или отсутствии среди контролируемых коммутационных элементов наличия неисправных (замыканий или обрывов).

Контрольный сигнал содержит адрес терминала, в который он должен попасть из диагностирующего блока по цепи замкнутых коммутационных элементов, и команду, предписывающую адресату возвращение сигнала назад. Терминалы содержат логическое устройство и память. Логическое устройство в течение такта сравнивает адрес, указанный в контрольном сигнале, с адресом данного терминала. При совпадении адресов коммутационный элемент замыкается. Если адрес не совпадает, то терминал играет роль шины при передаче сигнала по подключенным к нему замкнутым коммутационным элементам.

Диагностирование схемы производится в три этапа. На первом этапе проверяется исполнение команд на замыкание и размыкание коммутационных элементов $(i, 1), i = 1, \dots, M$, между диагностирующей шиной и терминалами. Проверка одного коммутационного элемента $(i, 1)$ проводится за три такта.

На первом такте диагностирующий блок дает команду замкнуть коммутационный элемент $(i, 1)$ и разомкнуть все остальные коммутационные элементы и затем по адресу терминала i контрольный сигнал, содержащий команду вернуть его на втором и третьем тактах назад.

На втором такте диагностирующий блок дает команду разомкнуть коммутационный элемент $(i,1)$ и затем проверяет возвращение контрольного сигнала от терминала i .

На третьем такте диагностирующий блок дает команду замкнуть коммутационный элемент $(i,1)$ и проверяет возвращение сигнала от терминала i .

Если исключить возможность ошибок в логических устройствах и памяти терминалов, то проверяемый коммутационный элемент достоверно исправен, т.е. срабатывает и на замыкание, и на размыкание тогда и только тогда, когда контрольный сигнал на втором такте не поступает на диагностирующий блок, а в третьем такте поступает. Если контрольный сигнал поступает на диагностирующий блок на втором такте, то достоверно, что коммутационный элемент не срабатывает на размыкание, а если контрольный сигнал не поступает на диагностирующий блок на третьем такте, то достоверно, что коммутационный элемент не срабатывает на замыкание. На втором этапе проверяется срабатывание на размыкание всех коммутационных элементов схемы между терминалами 1- M и шинами 2- B . Проверка основана на методе разрезов. Определим разрезы R_1 и R_2 следующими условиями:

$$R_1 = \left\{ (i, j) : i = 1, \dots, \frac{M}{2}, j = \frac{B}{2} + 1, \dots, B \right. \\ \left. \text{и } i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, j = 2, \dots, \frac{B}{2} \right\}, \\ R_2 = \left\{ (i, j) : i = 1, \dots, \frac{M}{2}, j = 2, \dots, \frac{B}{2} \right. \\ \left. \text{и } i = \frac{M}{2} + 1, \dots, M, j = \frac{B}{2} + 1, \dots, B \right\}.$$

Предположим, что коммутационные элементы $(1,1)$ и $(M,1)$ исправны, (случай, когда они неисправны, сводится к рассматриваемому путем изменения нумерации терминалов), и покажем, как проверяются на размыкание коммутационные элементы разреза R_1 . На первом этапе диагностирующий блок дает команду замкнуть коммутационный элемент $(1,1)$, замкнуть все коммутационные элементы разреза R_2 и разомкнуть все остальные коммутационные элементы схемы, после чего посылает контрольный сигнал по адресу терминала M , содержащий команду вернуть его на диагностирующий блок на втором такте. На втором такте диагностирующий блок дает команду замкнуть коммутационный элемент $(M,1)$, разомкнуть все остальные коммутационные элементы схемы и проверяет возвращение контрольного сигнала от терминала M .

Если контрольный сигнал не поступил на втором такте на диагностирующий блок, то делается заключение, что все коммутационные элементы разреза R_1 срабатывают на размыкание. Вероятность ошибочности этого заключения оценивается выражением, приведенным выше для случая дигностики схемы 1-го типа. Если на втором такте диагностирующий сигнал поступил на дигностирующий блок, то это достоверно означает, что хотя бы один из коммутационных элементов из R_1 не работает на размыкание.

Проверка разреза R_2 осуществляется аналогично. Локализация неисправных коммутационных элементов производится дихотомией разрезов. На третьем этапе методом цепей проверяется срабатывание всех коммутационных элементов на замыкание между шинами 2- B и терминалами 1- M . Пусть

$$\Gamma = \{L_1, L_2, \dots, L_r\}$$

есть система простых цепей, покрывающих все рассматриваемые коммутационные элементы схемы. Для определенности будем считать, что коммутационные элементы $(1,1)$ и $(M,1)$ исправны и все цепи соединяют терминалы 1 и M , т.е. множество Γ такое же, как и в первой части статьи. Для того, чтобы проверить срабатывание всех коммутационных элементов цепи L_i на замыкание, диагностирующий блок на первом этапе дает команду замкнуть коммутационный элемент $(1,1)$, замкнуть все коммутационные элементы цепи L_i , разомкнуть все остальные коммутационные элементы схемы и после

этого на терминвл M передает контрольный сигнал, содержащий команду вернуть его на втором такте на диагностирующий блок. На втором такте диагностирующий блок дает команду разомкнуть все замкнутые коммутационные элементы, замкнуть коммутационный элемент $(M,1)$ и проверяет возвращение сигнала. Если контрольный сигнал на втором такте был получен диагностирующим блоком, то принимается решение, что все коммутационные элементы цепи L_i работают на замыкание. Если на втором такте контрольный сигнал не получен, то это достоверно означает, что в цепи L_i есть коммутационный элемент B не работающий на замыкание. Его локализация осуществляется дихотомией цепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович А.И., Гармаш В.А., Шор Л.А. О диагностике коммутатора. В кн. *Системы управления информационных сетей*. М.: Наука, 1983, стр. 153–159.
2. Абрамович А.И., Гармаш В.А. Диагностика систем разовой коммутации. В кн. *Модели теории телеграфика в системах связи и вычислительной технике*. М.: Наука, 1985, стр. 103–109.
3. Zhao Y., Meyr F.J., Lombardi F. Analyzing and Diagnosing Interconnect Faults in Bus-Structured Systems. *IEEE Design and Test of Computers*, 2002, vol. 19, no. 1, pp. 54–64.