УДК 519.711:53

Коптев А.Н., Горяинов С.Б.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Пусть объект представлен в виде функциональной схемы, состоящей из N связанных между собой блоков

Выходные сигналы каждого блока зависят от входных сигналов. Если какой-либо входной (выходной) сигнал характеризуется несколькими параметрами, то каждый из этих параметров будем представлять отдельным выходом (входом).

Считаем, что из множества значений каждого входного и выходного параметра всегда можно выделить подмножество их допустимых значений. Значение входа или выхода блока назовем *допустимым* (недопустимым), если значение соответствующего параметра принадлежит (не принадлежит) подмножеству допустимых значений.

Обозначим внешние входы блока P_i (i=1, ..., N) объекта через x_{i1}, x_{i2}, .. его внутренние входы, являющиеся выходами других блоков, – через y_{i1}, y_{i2},... и входы через z_{i1}, z_{i2},.., z_{iR_i}. Обозначим логическое высказывание «значение входа допустимо» символом входа x (или y). Тогда символы входов можно считать логическими входными переменными, принимающими значение «истинно» (1), если значения соответствующих им входов допустимы, и значение «ложно» (0) – в противном случае. Аналогично символы выходов можно считать логическими выходными функциями, принимающими значение 1, если значения соответствующих им выходов допустимы, и 0 – в противном случае.

При таком рассмотрении функции выходов блоков являются булевыми функциями.

Переберем все возможные сочетания значений входов (входные наборы) исправного блока P_i и определим для каждого такого сочетания значение выхода z_{ij} (i=1, .., k_i) Полученную таким образом булеву функцию можно записать в виде ее совершенной дизъюнктивной нормальной формы [1] Назовем эту функцию функцией условий работы блока по выходу z_{ij} и обозначим символом F_{ij}. Для нее известными методами [2] можно получить дизъюнктивную частную нормальную минимальную форму

Для большинства исправных непрерывных объектов булевы функции условий работы блоков являются монотонными. Для монотонных функций частная минимальная форма единственна. В дальнейшем считаем, что F_{ij} представлена такой минимальной формой

В результате минимизации функций $F_{i1}, \ldots, F_{ik_i}$ для каждого из выходов $z_{i1}, \ldots, z_{ik_i}$ блоков P_i получим совокупность существенных входов. В логической модели объекта каждый блок P_i будем представлять блоками $Q_{i1}, \ldots, Q_{ik_i}$, каждый с одним выходом z_{ij} и с s_j входами, существенными для выхода z_{ij}.

Назовем логическую модель правильной, если для любой пары блоков

• характерной тем, что выход одного из блоков является входом другого, выполняется условие: подмножества допустимых значений соответственно совпадают,

• имеющей одноименные входы, выполняется условие: подмножества недопустимых значений входов совпадают.

Тогда для правильной логической модели символы внутренних входов можно заменить символами связанных с ними выходов (при условии, что в связях между блоками нет задержек). Перенумеруем блоки логической модели и обозначим их символами $Q_1, \ldots, Q_n$, где $n = \sum_{i=1}^{N} k_i$. На этом завершается построение логической модели объекта.

В общем случае каждому исходному блоку P_i в функциональной схеме соответствует подмножество блоков логической модели из $\{ Q_1, \ldots, Q_n \}$. В частном случае логическая модель может совпадать с функциональной схемой объекта.

Построенную логическую модель можно рассматривать как некоторое логическое устройство, при контроле которого допустимое множество входных наборов содержит один непрерывный набор 1 . . 1. Это значит, что при контроле непрерывного объекта на последний подаются входные сигналы, которые находятся в допуске.

Для анализа логической модели может быть использована общая методика анализа комбинаторных устройств. Однако ряд особенностей логической модели (монотонность функций условий работы блоков, ограниченный характер неисправностей и др.) позволяет существенно упростить процесс анализа.

Не нарушая общности, дальнейшее изложение проведем на примере логической модели, изображенной на рис. 1.

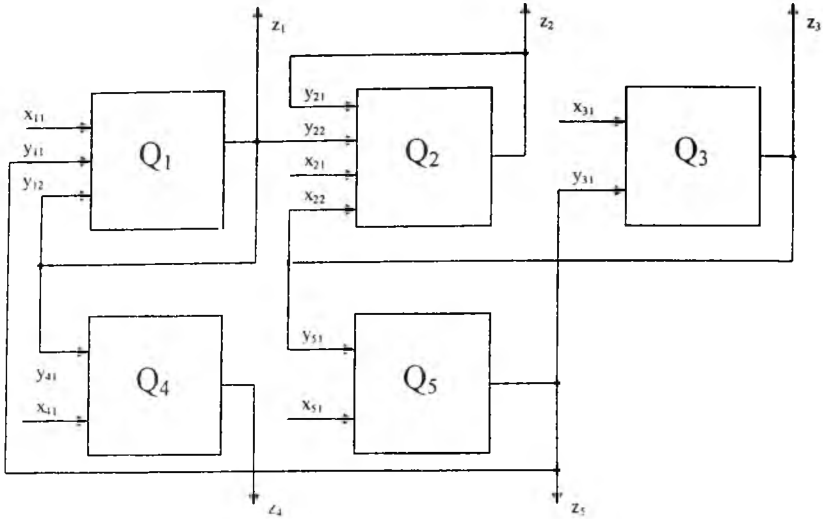

Рис 1. Пример логической модели

Предположим, что частная минимальная форма F_i $(i=1, \ldots, n)$ состоит из одного члена, являющегося конъюнкцией внешних и внутренних переменных, т.е. имеет вид

$$F_i = x_{i_1} \ldots x_{i_{l_i}} \cdot y_{i_1} \ldots y_{i_{p_i}} .$$

Все возможные неисправности блока Q_i можно разбить на два класса. К первому классу относятся технические неисправности, которые приводят к появлению выхода $z_i=0$ вместо ожидаемого (соответствующего исправному блоку) выхода $F_i=0$ в $z_i=1$.

Назовем *правильным* блок, который сопоставляет значение z_i со значениями F_i в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

F_i	z_i
1	1
0	0

Таблица 2

F_i	z_i
1	0
0	0

Таблица 3

F_i	Q_i	z_i
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

Неправильный блок осуществляет сопоставление в соответствии с таблицей 2.

Для большинства непрерывных объектов понятие правильного блока совпадает с понятием исправного блока, а понятие неправильного блока – с понятием неисправного блока.

Если составить логическое высказывание «блок Q правильный и обозначить его символом Q (Q=1 или 0), то в соответствии с таблицами 1 и 2 можно составить таблицу 3, из которой следует, что z_i можно рассматривать как конъюнкцию переменных F_i и Q_i:

$$z_i = Q_i \cdot F_i$$

Физически это соответствует тому, что выход z_i блока Q_i будет допустимым только в том случае, когда все его входы допустимы (F_i=1) и блок Q_i исправный.

Для того, чтобы блок Q_i был правильным (исправным), достаточно, чтобы высказывание z_i было истинным (выход z_i был допустимым).

Обратимся к рис. 1 и выпишем значения функций условий работы блоков:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= x_1 \cdot z_1 \cdot z_5; \\ F_2 &= x_2 \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3, \\ F_3 &= x_3 \cdot z_5; \\ F_4 &= x_4 \cdot z_1; \\ F_5 &= x_5 \cdot z_1. \end{aligned}\right| \quad (1)$$

Составим равенство типа $z_i = Q_i \cdot F_i$:

$$\left.\begin{aligned} z_1 &= Q_1 \cdot x_1 \cdot z_1 \cdot z_5; \\ z_2 &= Q_2 \cdot x_2 \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3; \\ z_3 &= Q_3 \cdot x_3 \cdot z_5; \\ z_4 &= Q_4 \cdot x_4 \cdot z_1; \\ z_5 &= Q_5 \cdot x_5 \cdot z_1. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Считаем, что правильная логическая модель функционирует правильно, если все ее блоки правильные. Для того чтобы объект функционировал правильно (был исправным), достаточно, чтобы логическое высказывание:

$$z_1 \cdot z_2 \ldots z_n \qquad (3)$$

было истинным

Покажем, как найти минимальную совокупность выходов, истинность значений которых влечет за собой истинность высказывания (3).

Составим в соответствии с (2) квадратную матрицу (таблица 4), число строк и столбцов которой соответствует выходам $z_1, \ldots z_n$. Заполним матрицу столбцов следующим образом. В клетках главной диагонали проставим знаки ⊗. Затем возьмем первое равенство системы функций (2) и отметим знаками × (без кружка) в первой строке матрицы те столбцы, в которых записанные входы содержатся в правой части первого равенства системы (2).

В рассматриваемом примере такими выходами являются z_1 и z_5. Просмотрим первую строку матрицы слева направо и найдем первый знак ×. Обратимся к тому уравнению системы (2), которому соответствует столбец с найденным знаком ×. В данном случае это пятое уравнение системы (2). Обведем кружком (в примере переходный знак) знак × в столбце z_5 и отметим знаком × столбец z_3 в той же строке (таблица 4).

Таблица 4

	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
z_1	⊗		×		×
z_2		⊗			
z_3			⊗		
z_4				⊗	
z_5					⊗

Снова найдем первый слева знак × и будем повторять описанную процедуру до тех пор, пока в строке не останется ни одного знака × (без кружка). После этого перейдем к следующей строке и т.д. В результате получим окончательную таблицу 5. Очевидно, что число шагов описанной процедуры (под шагом подразумевается один просмотр какого-либо уравнения в системе (2)) не может превышать $n(n-1)$.

Таблица 5

	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
z_1	⊗		⊗		⊗
z_2	⊗	⊗	⊗		⊗
z_3			⊗		
z_4	⊗		⊗	⊗	⊗
z_5			⊗		⊗

Теперь задача определения минимального числа выходов состоит в выборе минимальной совокупности таких строк, чтобы в каждом столбце имелось минимальное число знаков ⊗ (лучше всего один знак на пересечении со строкой). Для рассматриваемого примера минимальная совокупность состоит из строк z_2 и z_4.

Истинность полученной описанным образом минимальной совокупности выходов является необходимым и достаточным условием истинности высказывания (3).

В простейших случаях определение минимальной совокупности строк легко осуществить путем простого просмотра таблицы. В более сложных случаях следует применять известную методику построения частных минимальных форм при минимизации булевых функций [3]. При получении нескольких равноценных по числу строк вариантов минимальных совокупностей следует выбирать ту из них, которая наиболее удобна для технической реализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков П.С., Элементы математической логики, Физматгиз, 1959.
2. Колдуэл С., Логический синтез релейных устройств. Изд-во иностранной литературы, 1962.
3. Mc`Cluckey, Minimization of Boolean Function, Bell Syst. Journ., 1956, v. 35, №6.