

О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ ОПИСАНИЯ СХЕМ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

З.И. Рабинович
(Киев)

1. В настоящем сообщении обращается внимание на некоторые аналитические методы учета качества информационных сигналов и временных соотношений между ними при описании процесса работы комбинационных и накапливающих схем [1,2,3]. Эти методы были разработаны с целью учета указанных факторов при формализованном проектировании устройств для переработки информации. Однако они вполне применимы и для моделирования процесса работы схем в целях получения диагностических и профилактических тестов, а также выявления в схемах "опасных" мест и причин неправильной работы (основные проблемы построения системы контроля и диагностики цифровых вычислительных машин в части математического обеспечения освещены в [4]).

Данные методы учитывают влияние как раз тех тонких обстоятельств, которые по мере изменения параметров схем в процессе эксплуатации приводят к отказам и, хуже того, к предшествующим им сбоям (кратковременным отказам). Характерной методологической особенностью этого учета является органическое слияние его с описанием логического функционирования схем. Поэтому соответствующие способы легко вписываются в существующую методику моделирования, детально изложенную в ряде докладов настоящего семинара.

Поскольку приводимые в сообщении методы непосредственно вытекают из упомянутых выше опубликованных работ, осветим только их главные принципиальные черты.

2. Основная идея метода учета качества информационных сигналов заключается в том, что с целью проверки правильности и надежности работы схемы производится подсчет физических характеристик информационных сигналов на выходе каждого элемента с помощью упрощенных зависимостей, причем лишь для случая худших значений сигналов на его входах.

Суть метода можно кратко охарактеризовать следующим образом.

Логическим значениям информационных сигналов предписываются строго фиксированные области отображения в соответствующем поле физических величин — ограниченные пределами, предположим, "а", "б" для "1" и "с", "д" для "0", среди которых "б" и "с" смежные.

Вводится следующий аппарат отображающих функций, состоящий из упрощенных зависимостей между физическими значениями выходных и входных сигналов элементов — таким образом, что каждому типу элемента, или точнее, каждому элементному логическому оператору [1,3] присваивается его отображающая функция, общий вид которой

$$\Phi[\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n), h_1, \dots, h_k],$$

где Φ — ядро функции, т.е. отображающая функция элемента без нагрузки, значение которой зависит только от входных сигналов, а h_1, \dots, h_k — параметры нагрузки.

Ядра разделены на два класса — дискретно-зависимые и непрерывно-зависимые. Дискретно-зависимые ядра представляют собой константы при условии, что значения аргументов не выходят за пределы областей отображения.

Благодаря монотонности отображающих функций обычных электронных логических элементов в процессе определения качества работы схемы следует учитывать только лишь предельные смежные (см. выше) значения информационных сигналов.

Это означает, что при подсчете указанных значений сигнала на выходе элемента, необходимо из множества предельных значений сигналов на его входах отдельно для каждого выходного логического значения выбрать, соответственно, худшую комбинацию x_1, x_2, \dots, x_n . В соответствии с этой комбинацией при условии также худших значений нагрузки h_1, h_2, \dots, h_k определить

предельные значения выходного сигнала. Таким образом, учитывается множество предельных смежных (т.е. худших) значений сигналов на всех входах элемента и, вместе с тем, для каждого информационного канала определяется лишь одна пара худших значений сигналов, что весьма существенно упрощает расчет. Заметим также, что расчет схем при отображающих функциях с дискретно-зависимыми ядрами (которыми обладают, например, универсальные элементы) будет проще, чем при отображающих функциях с ядрами непрерывно-зависимыми.

Ввиду изложенного, отображающие функции целесообразно установить только для вполне определенных "предельных" (с точки зрения качества работы схем) наборов логических переменных, что позволяет получить для обычных электронных элементов довольно простые выражения этих функций. С такой же целью может также оказаться желательным допускать некоторые методические ошибки, направленные в сторону ухудшения получаемых значений. Благодаря указанным использованием предельных наборов входных переменных при проверке работы каждого элемента данный способ учета качества сигналов соответствует существующим методам моделирования схем в контрольных и диагностических целях и может быть легко в них включен.

Таким образом, аппарат отображающих функций позволяет моделировать с определенными целенаправленными ограничениями физическую сторону процесса переработки информации в схеме - в части количественных характеристик и информационных сигналов.

3. Моделирование логического функционирования схемы, как временного процесса, удобно осуществлять на основе использования аппарата ВП-функций (векторно-временных переключательных функций - ВПФ [2]), который позволяет аналитически описывать работу схемы с учетом моментов времени поступления и образования сигналов и их длительности, с учетом запоминания логических значений сигналов на триггерах; сдвига их на задержках и т.д. При этом вся схема представляется целиком, без искусственного разрыва комбинационных и накапливающих частей. Такое моделирование позволяет, в частности, выявлять причины ошибок в логическом функционировании схемы, связанные с нарушением правильности временного взаимодействия между информационными или информационными и синхронизирующими сигналами, т.е. причины ошибок, которые зачастую являются наиболее сложными для экспериментального обнаружения.

Цель создания данного аппарата - получение удобных средств аналитического описания цифровых автоматов (логических сетей) охватывающего, как сами схемы, так и временные процессы их работы. При этом автомат рассматривается в виде преобразователя временных последовательностей информационных сигналов. Разумеется такие средства могут являться основой для построения соответствующих методов синтеза и моделирования автоматов, отличающихся непосредственным органическим включением временных факторов.

Главная идея построения данного аппарата заключается в придании переключательным функциям средств для описания временных процессов, а именно - в присвоении логическим величинам временных координат, введении специальных операций для их преобразования, представлении функций от разновременных аргументов.

Касаясь сути аппарата, в соответствии с характером оооб-щения, укажем лишь наиболее важные моменты с точки зрения представления схем необходимого для моделирования.

Всем значениям переменных в алгебре ВП-функций предписываются временные координаты - начало и конец отрезка времени существования данного значения.

Переменная величина может быть задана на одном либо множестве непересекающихся отрезков существования, например

$$X_{t_1 - t_2}, X_{t_3 - t_4}, \dots, X_{t_{k-1} - t_k}$$

причем значения ее на разных отрезках независимы и могут быть любыми в пределах структурного алфавита ("1" либо "0" в простейшем рассматриваемом случае), вне этих отрезков значение величины может быть только нуль.

ВП-функция определяется на отрезке времени T_0 , охватывающем все отрезки существования всех ее аргументов (во всех точках соответствующих их временным координатам и составляющих множества $T_1 - T_n$)

$$F = F(X_{T_1}^{(1)}, X_{T_2}^{(2)}, \dots, X_{T_{n-1}}^{(n-1)}, X_{T_n}^{(n)}).$$

Каждому набору значений аргументов соответствует вектор значений функции, расположенных вдоль определенного отрезка

времени T_2 (отсюда и название функций); отрезок T_1 в общем случае может и не совпадать с отрезком T_0 , но не может начинаться раньше его.

Важнейшие типы функций суть комбинационные и накапливающие (описывающие, соответственно, схемы без петель и с петлями, т.е. с обратными связями).

Функционально-полная система базисных ВП-функций (элементарных операций) состоит из функционально-полного набора переключательных функций и специальных операций, обеспечивающих произвольное изменение временных координат (но не в сторону опережения). Наиболее характерными и простыми в распространенных на практике таких операций являются сдвиг

$$X_{t_1 \rightarrow t_2} = X(t_1 + \delta) - (t_2 + \delta) \\ \delta > (t_2 - t_1)$$

и продлевание (запоминание)

$$L X_{t_1 \rightarrow t_2} C_{t_2 \rightarrow t_1} = X(t > t_1) - t_2, \quad C = 1$$

Первая операция реализуется импульсным элементом задержки, вторая потенциальным триггером с раздельными входами, когда на единичный вход поступает сигнал L , а на нулевой — установочный сигнал. Операция сдвига сигнала осуществляет одинаковое изменение двух его временных координат, а операция продлевания (запоминания) сигнала изменяет только конечную его координату на время, определяемое начальной координатой специального "стирающего" сигнала при единичном значении последнего.

В зависимости от конкретного случая используются различные более сложные операции изменения временных координат аргументов, реализуемые статическими триггерами различных типов с задержками на входах, динамическими триггерами и т.п.

Возможно и совпадение логических операций с операциями изменения временных координат, например, $x \vee y$ — дизъюнкция с задержкой результата на время " δ ". Таким способом удобно обозначать логические задерживающие элементы [3], а также паразитные запаздывания в обычных логических элементах.

В конечном счете, используются операции изменения временных координат, в основном, в целях совмещения отрезков существования аргументов, над которыми выполняются совместные логи-

ческие операции (например, для образования конъюнкции аргументов, представленных разновременными сигналами)

$$(X_{t_1-t_2}, Y_{t_3-t_4}) = (L X_{t_1-t_2}, G_{t_5-t_6}) Y_{t_3-t_4},$$

либо в целях разнесения этих отрезков во времени при несовместимости одновременных действий над аргументами (например, для устранения "гонок"). Это полностью соответствует практическому использованию в схемах физических аналогов данных операций (триггеров, задержек и т.п.).

Таким образом функции в аппарате ВПФ, представляют собой суперпозиции логических операций и операций изменения временных координат над аргументами, привязанными к вполне определенным моментам времени. Системы этих функций целиком описывают и схемы цифровых автоматов со всеми заключающимися в них логическими элементами, триггерами и задержками, и процессы переработки информации, происходящие в этих схемах.

Поскольку временные координаты аргументов известны, а временные координаты их функций определяются функциональным путем - в соответствии с заполненными операциями - все временные характеристики работы схемы во всех ее каскадах **п р о - с л е ж и в а ю т с я** весьма просто в процессе ее моделирования - вплоть до таких, например, тонких особенностей, как длительности сигналов, переключающих триггеры, соотношения между отрезками времени переключения триггеров и времени существования управляемых ими сигналов, паразитные запаздывания на конечных элементах и т.п. Ясно, что такие возможности имеют существенное значение для моделирования схем, выполняемого в контрольных и диагностических целях.

Следует заметить, что в ряде случаев возможно и целесообразно упрощенное использование данного аппарата, а именно, пренебрежение длительностью сигналов (т.е. указание лишь одной его временной координаты), либо указание только лишь операций сдвига (в том числе и совместно с логическими операциями), что уже дает возможность моделировать соответствующие запаздывания в схемах по отношению к фиксированному началу отсчета времени (в упрощенном виде аппарат ВПФ применен в [3]).

В целом можно считать, что усовершенствование методики моделирования схем путем включения в нее аналитических способов учета физических характеристик информационных сигналов

должно способствовать повышению эффективности использования моделирования в системе контроля и диагностики цифровых вычислительных машин.

Л и т е р а т у р а

1. З.Л. Рабинович, Ю.В. Капитонова. Общие принципы синтеза комбинационных схем. Вычислительная математика и математическая физика, № 4, 1963 г.
2. З.Л. Рабинович. Оперативное представление логических схем в вычислительных машинах на основе векторных переключательных функций. "Наука", 1966 г.
3. З.Л. Рабинович. Элементарные операции в вычислительных машинах. "Техника", 1965 г.
4. Г.А. Миронов. Основные проблемы программного контроля. Настоящий сборник.