

УДК 681.3

**АВТОМАТИЗАЦИЯ  
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**В.Ш. МЕЛИКЯН, А.С. АВАКЯН**

**ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ  
СХЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Առաջարկված է որոշակի փոփոխություններից հետո ոչ հստակ բազմությունների տեսության տարրերի կիրառմամբ թվային սխեմաների մոդելավորման մեթոդիկա: Դա թույլ է տվել զգալիորեն մեծացնել սխեմայի հանգույցներում ազդանշանների տևորի վերարտադրման հստակությունը, պահպանելով սովորական տրամաբանական մոդելավորման արագությունը: Իրականացված են սխեմաների վերլուծության մշակված մեթոդիկայի կիրառության հարցերը արտաքին ապակայունաճող դործոնների փոփոխման այն սահմանների որոշման խնդրի համար. որոնց դեպքում մոդելավորվող սխեման պահպանում է իր աշխատունակությունը: Բերված է առաջարկված մեթոդիկայի էությունը և նրա արդյունավետությունը բազմախոտույ հաշվարկի օրինակ:

Предложена методика моделирования цифровых схем с применением элементов теории нечетких множеств после их определенной модификации, что позволило значительно увеличить точность воспроизведения формы сигналах узлах схемы, сохраняя при этом скорость традиционного логического моделирования. Рассмотрены вопросы применения предложенной методики анализа схем для определения гранич изменения этих дестабилизирующих внешних факторов. Приведен пример расчета, выявляющий сущность и эффективность предложенной методики.

Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

A technique of digital circuit simulation with application of illegible set theory after their definite modification is offered. This permitted to increase significantly the signal form reproduction accuracy in circuit nodes preserving the traditional logic simulation rate. Problems of using this circuit analysis method for specifying limits of changing external destabilized factors preserving the serviceability of the simulated circuit are considered. The design example explaining the essence and efficiency of the proposed technique is given.

Ил. 4. Ref. 6.

В процессе проектирования существует много задач анализа функционирования цифровых схем, требующих сочетания скорости логического [1-4] и точности схемотехнического [5,6] моделирования. Примером является учет влияния внешнего воздействия при моделировании цифровых схем. Актуальность этой задачи связана с тем, что в настоящее время влияние внешних воздействий на состояния узлов схемы соизмеримо, а порой, и больше самого полезного сигнала. Поэтому пренебрежение этим влиянием во время моделирования цифровых БИС часто приводит к качественно неверным результатам. Например, при статическом режиме работы цифровой схемы, когда на входы поданы постоянные сигналы ("0" или "1"), во всех остальных узлах тоже должны получаться постоянные сигналы, при условии, что в схеме отсутствуют генераторы сигналов. Однако при наличии внешних воздействий наряду с их изменением начинают изменяться состояния узлов схемы. Существуют такие значения внешних воздействий, при которых состояния узлов настолько отличаются от

нормальных стационарных значений, что в схеме начинают происходить переключения, приводящие к необратимым процессам. Поэтому возникает задача нахождения этих критических значений внешних воздействий.

При решении указанной задачи необходимо, чтобы состояния узлов цифровой схемы были непрерывными, что исключает использование традиционных программ логического моделирования, базируемых на булевой алгебре. С другой стороны, представляется невозможным использование схемотехнического моделирования, так как с помощью таких программ при принятых ограничениях на время анализа реально можно анализировать лишь небольшие схемы. Можно привести и другие примеры практических задач проектирования цифровых схем, для решения которых необходимы отмеченные качества программы моделирования.

В настоящей статье для моделирования цифровых схем предлагается использовать аппарат теории нечетких множеств в нижеприведенной интерпретации. Это позволит, сохраняя быстроту логического моделирования, добиться непрерывности состояний узлов схемы и, тем самым, возможности учета влияния внешних воздействий.

При моделировании цифровых схем состояние каждого узла схемы  $i$  характеризуется переменной  $Q_i$ , которая показывает не стационарное состояние узла  $Q_{i,ст}$  (которая может принимать значения "0" или "1"), как при обычном логическом моделировании, а степень отличия состояния узла  $i$  по отношению к стационарному при данном значении внешнего воздействия. Например, если в качестве базового стационарного значения принято "0" и  $Q_1 = 0,3$  и  $Q_2 = 0,5$ , то это означает, что состояние узла  $Q_1$  больше отличается от стационарного значения, чем состояние узла  $Q_2$  при данном значении внешнего воздействия. При этом значение переменной  $Q_i$  может изменяться в пределах между 0 и 1. Так как для определения  $Q_i$  необходимо знать значения стационарных состояний узлов схемы  $Q_{j,ст}$  ( $j = 1, \dots, n$ ,  $n$  - количество узлов схемы), что зависит от логики работы схемы, а также величину внешнего воздействия, в логическую функцию каждого элемента, кроме обычных переменных (входов, выходов и внутренних узлов), вводятся также специальные переменные  $\mu$ , которые определяют значения влияния внешнего воздействия на состояния каждого из узлов.

Иными словами, синхронная модель отдельного цифрового элемента представляется в виде

$$y = f(x, A, \mu), \quad A' = q(x, A, \mu), \quad (1)$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $A$  и  $\mu$  - векторы входных, выходных, внутренних и специальных переменных элемента;  $A'$  - новое значение вектора  $A$ .

Переменные вектора  $\mu$ , учитывающие влияние внешнего воздействия, представляются в виде  $\mu = F(B)$  (модели определения внешних воздействий). Так как переменные векторов  $x$ ,  $A$ ,  $\mu$  имеют непрерывный характер, то для расчета функций  $f$  и  $q$  булева алгебра неприменима. При этом применяются соответствующие функции теории нечетких множеств. Например, логические функции И, ИЛИ, НЕ можно заменить функциями  $\min(X_1, X_2, \dots, X_m)$ ,  $\max(X_1, X_2, \dots, X_m)$  и  $1 - X$ .

Построение модели всей цепи из моделей отдельных элементов с учетом топологии схемы производится с использованием традиционных методов, используемых в обычных программах логического анализа [1-4].

Предлагается следующая методика моделирования цифровых схем с учетом влияния внешних воздействий в статическом режиме:

1. На входы цифровой схемы подается входная комбинация сигналов.
2. Значению внешнего воздействия  $V$  присваивается минимальное значение  $V = V_{\text{мин}}$ .
3. Для данного значения  $V$  вычисляются переменные вектора  $\mu$  по моделям определения внешнего воздействия для каждого элемента схемы.
4. В результате использования модели всей цепи получаются значения состояний всех узлов схемы при текущем значении  $V$ .
5. Значение внешнего воздействия увеличивается на величину его шага:  $V = V + \Delta V$ . Если  $V < V_{\text{макс}}$ , то производится переход к пункту 3. В противном случае работа алгоритма завершается. Вопрос выбора величины шага  $\Delta V$  можно решить аналогично [5, 6] при определении величины шага моделирования по времени для анализа переходных процессов, т. е. в зависимости от соотношения точности и скорости изменения процессов.

В результате получаются зависимости состояния каждого узла схемы от значения  $V$  в интервале  $V_{\text{мин}} - V_{\text{макс}}$ :  $Q_i = Q_i(V)$  ( $i=1, \dots, n$ ).

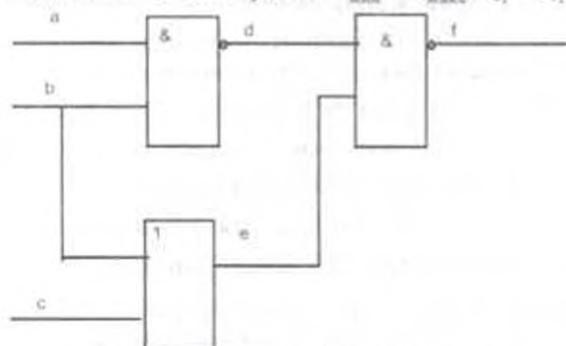


Рис. 1. Пример моделируемой схемы

При заданных допустимых пределах изменения состояний узлов  $Q_{\text{мин}}$ ,  $Q_{\text{макс}}$  можно найти интервалы изменения  $V$ , при которых значения  $Q_i$  находятся в норме, а также значения  $V$ , при которых схема не работоспособна.

Работу приведенного алгоритма объясним на следующем примере (рис. 1).

Внешним воздействием является радиационный поток облучения, который изменяется во времени (рис. 2).

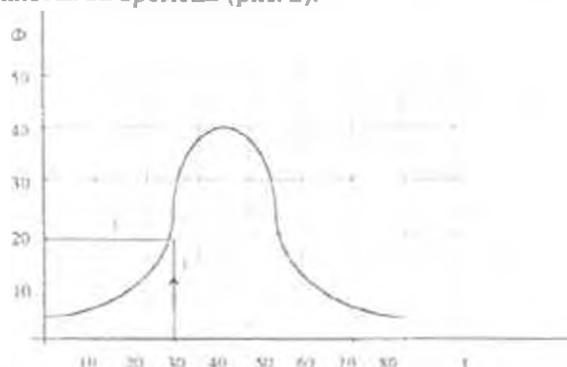


Рис. 2. Изменение радиационного потока облучения во времени

Экспериментально установлена зависимость состояния элемента ИНЕ, предварительно находящегося в состояниях "0", "1", от радиационного потока (рис. 3).

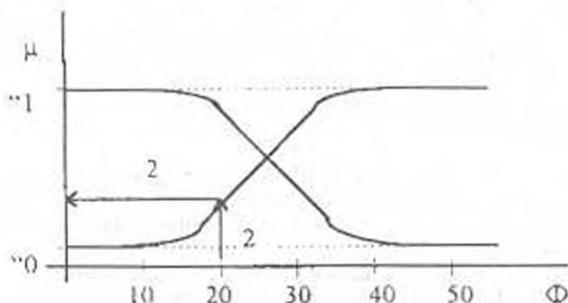


Рис. 3 Зависимость состояния элемента ИНЕ, предварительно находящегося в состояниях "0", "1", от радиационного потока облучения

Соответствующие зависимости  $\mu = F(\Phi)$  для других базовых ячеек также считаются заданными.

Как видно из примера, входная комбинация abc равна 110. Без учета влияния внешнего воздействия состояние схемы def равно 011. На рис.4 приведены результаты работы предложенного алгоритма для приведенного примера, т. е. графики изменения состояний узлов схемы в результате внешнего воздействия. Для ясности стрелками показана очередность действий при нахождении значения состояния узла d в момент времени  $t=23$  (см. стрелки 1, 2, 3 на рис.2, 3, 4). Таким же образом определяются состояния всех узлов схемы в каждый момент времени. Как видно из графиков рис. 4 состояния узлов d и f в течение некоторого промежутка времени заметно отличаются от стационарных значений, которые получаются при традиционном логическом моделировании.

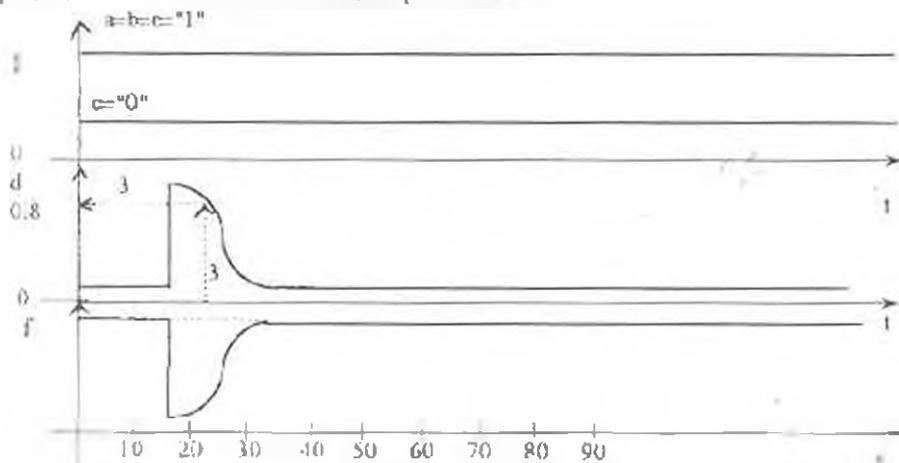


Рис. 4. Изменение состояний узлов в результате внешнего воздействия

На основе рассмотренной выше методики анализа цифровых схем в рамках программной системы моделирования электронных схем ЭЛАИС-11 создана подсистема СИПАИ, позволяющая моделировать функционирование цифровых схем с учетом влияния различных внешних факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Eichelberger E.B. Hazard detection in Combinational and Sequential Switching Circuits//IBM Journal Res. Develop. - 1965. - №9 - P. 90 -99.
2. Брейер М. А. Последние достижения в автоматизации проектирования и анализа цифровых схем/ Автоматизация в проектировании. Под ред. Д.Калахана и др. - М.: Мир, 1972 - С 19-47.
3. Автоматизированное проектирование цифровых устройств /С.С.Бадулин, Ю.М. Барнаулов, В.А.Бердышев и др.; Под ред. С.С. Бадулина - М.: Радио и связь, 1981 - 240с.
4. Архангельский А.Я., Меликян В.Ш. Модели функционирования логических элементов в программе смешанного логико-электрического моделирования / Тел. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. "Автоматизация проектирования ЭВМ и систем", - Ереван, 1983. - С. 80-82.
5. Петренко А.И. Состояние и перспективы схемотехнического моделирования электронных схем на ЭВМ // Автоматизация проектирования в электронике: Сб. ст. - Киев. - 1980. - Вып. 22. - С. 15-22.
6. MOTIC-C: a new circuit simulation for digital circuits / S.P.Ean, H.Y.Hsueh, A.R.Newton et al. // In: Proc of IEEE International Symposium on Circuits - Boston. - 1997. - P. 700-703.

ГИУА

22.10.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. I, № 2, 1997, с. 130 - 133.

УДК 62-50

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Э. СААКЯН, П.А. МАТЕВОСЯН, М.Г. МНАЦАКАНЯН

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ

Ներկայացվում է կառավարման ոչ գծային համակարգի վերլուծման և համադրման մեթոդիկա, հիմնված նմանակային և հաշվի տեխնիկաների համադրող օգտագործման վրա: Քերվում է հետևող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, որի իրականացումն այս մեթոդիկայով թույլ է տալիս որոշել համակարգի անհրաժեշտ պարամետրերը, որոնք ապահովում են համակարգի աշխատանքը և հետևման արմատնչվող որակը:

Излагается методика анализа и синтеза нелинейных систем управления, основанная на совместном использовании вычислительной и аналоговой техники. Приводится математическая модель системы слежения, реализация которой с помощью этой методики позволила установить необходимые параметры, позволяющие обеспечить устойчивую работу системы и требуемое качество слежения.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

A method of analysis and synthesis of nonlinear control system based on joint digital and analogue computers is given. The mathematical model for the tracing system is described and the realization of this method enabled to find the necessary parameters of the system providing its stable performance and desirable tracing quality.

Ил. 1. Ref. 5.

На практике имеет место значительное число систем управления с существенными нелинейностями типа произведение люфт.