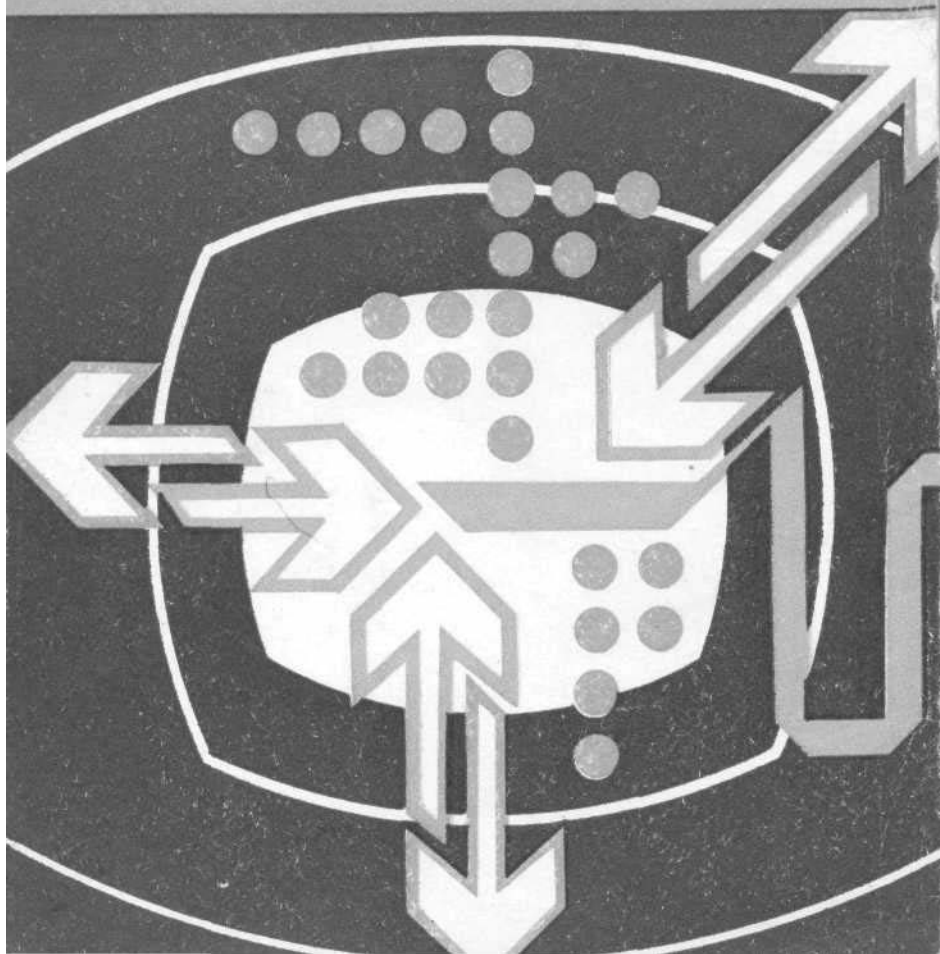


11.12.13

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ



ББК 32.97

С 56

УДК 681.3+681.51

- С 56 **Современные вычислительные и автоматизированные системы: [Сб. статей]** / Белорус. гос. ун-т им. В. И. Ленина, ВЦ; Под ред. А. А. Пальцева. — Мн.: Изд-во БГУ, 1980. — 240 с., ил.
1 р. 80 к.

В сборнике приведены результаты научных исследований в области прикладной математики, анализа и синтеза элементов вычислительных систем, автоматизированных систем управления, автоматизации биомедицинских исследований и разработки человеко-машинных систем. Отдельный раздел сборника посвящен библиотеке программ ЕС ЭВМ. Сборник предназначен для сотрудников вычислительных центров, организаций и учреждений, эксплуатирующих ЕС ЭВМ, а также для специалистов, занимающихся разработкой программного обеспечения ЭВМ и АСУ и построением автоматизированных систем.

С $\frac{30502-017}{M317-80}$ резерв — 1980 2405000000 ББК 32.97

© Белгосуниверситет им. В. И. Ленина, 1980

Раздел II
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Л. А. Золоторевич, Т. В. Медзько

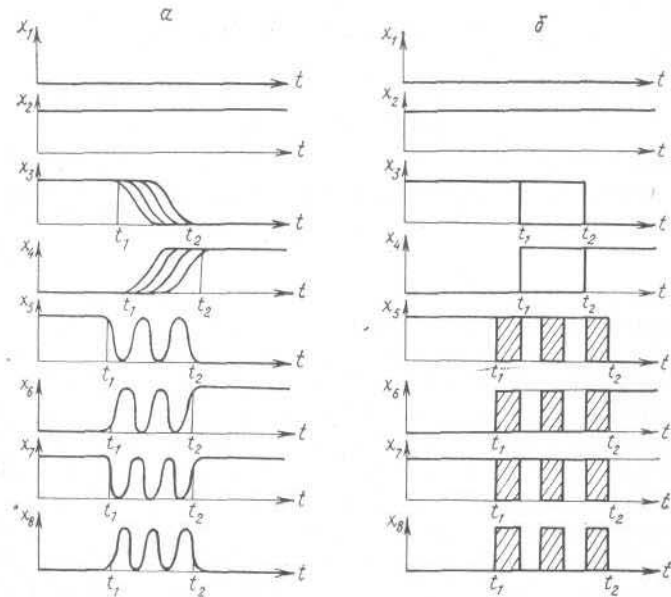
**МНОГОЗНАЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ (ДУ)
БЕЗ СХОДЯЩИХСЯ ВЕТВЛЕНИЙ С УЧЕТОМ
РАЗБРОСОВ ЗАДЕРЖЕК НА СРАБАТЫВАНИЕ
ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЛЭ)**

Методы многозначного моделирования, известные в литературе, не учитывают временные параметры входных сигналов и элементов ДУ. В результате при моделировании ДУ возникают ошибки, которых можно избежать с помощью временного моделирования. В работе [1] рассматривается метод временного моделирования ДУ, в котором предполагаются простые переключения входных сигналов ЛЭ (переключения кратности 1). Однако в реальных ДУ вследствие разброса паразитных задержек в цепях распространения сигналов кратность переключательного процесса при его распространении через ЛЭ может увеличиваться. Поэтому ограничиться изучением поведения ЛЭ при переключениях на его входах кратности 1 нельзя ввиду возможности появления более сложных переключений сигналов. Метод интервального двоичного моделирования, изложенный в [1], можно распространить на случай входных переключений большой кратности, однако при этом сложность алгоритмов моделирования ЛЭ увеличивается настолько, что метод становится экономически неэффективным для его практической реализации. В дальнейшем будем считать, что в ответ на заданное входное воздействие в схеме могут вырабатываться следующие типы сигналов:

- 1) постоянный $0(1)$ (см. рисунок; x_1, x_2);
- 2) плавный переход в $0(1)$, характеризующийся граничными моментами времен перехода и конечным логическим состоянием сигнала (см. рисунок; x_3, x_4);
- 3) неплавный переход в $0(1)$, характеризующийся

конечным логическим состоянием сигнала и интервалом времени неизвестного состояния (см. рисунок; x_5, x_6);

4) сигналы дребезга, характеризующиеся интервалом времени неизвестного состояния и логическим значением устойчивого состояния (см. рисунок; x_7, x_8).



Сигналы, вырабатываемые в реальных ДУ, и их представление в модели

Сведем задачу моделирования ДУ к моделированию ЛЭ, на входы которого воздействуют сигналы из множества сигналов, изображенных на рисунке. Рассмотрим моделирование n -входового конъюнктора Z_k , представленного в виде модели, принятой в работе [1]. Введем следующие обозначения:

Z'_k — идеальный фильтрующий элемент с инерциальной задержкой τ_k ; $(t'_{\text{усл}})_{\text{min}}$ и $(t'_{\text{усл}})_{\text{max}}$ — граничные моменты времени появления событий на входах Z'_k , способных при определенных условиях изменить его состояние;

$(t'_{\text{усл}})^+$ — длительность времени существования таких событий на входах ЛЭ [1];

M_1 — множество входов ЛЭ, на которые воздействуют сигналы типа x_4 ; $M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7$ — множества входов ЛЭ, на которые воздействуют сигналы типа $x_3, x_7, x_8, x_2, x_5, x_6$ соответственно (см. рисунок);

$$m_1 = \dim M_1; m_2 = \dim M_2; m_3 = \dim M_3; m_4 = \dim M_4;$$

$$m_5 = \dim M_5; m_6 = \dim M_6; m_7 = \dim M_7;$$

$$p_2 = m_1 + m_3 + m_5 + m_7; p_3 = m_2 + m_3 + m_5 + m_6;$$

$t^1_{k(i) \text{ min}}$ и $t^1_{k(i) \text{ max}}$ — граничные времена задержек на срабатывание ЛЭ Z_k по входу x_i при переходе его из нуля в единицу (верхний индекс) и соответственно для случая перехода из единицы в нуль: $t^0_{k(i) \text{ min}}$ и $t^0_{k(i) \text{ max}}$;

$t^+_i \text{ min}$ и $t^+_i \text{ max}$ — моменты времени, характеризующие изменения входных сигналов, соответствующие моментам времени t_1 и t_2 (см. рисунок).

Граничные моменты времени переключения логического сигнала на входе x_i идеального элемента Z'_k будем обозначать $t_{ki} \text{ min}$ и $t_{ki} \text{ max}$. Здесь

$$t_{ki} \text{ min} = t^+_i \text{ min} + t^1_{k(i) \text{ min}} \text{ или } t_{ki} \text{ min} = t^+_i \text{ min} + t^0_{k(i) \text{ min}};$$

$$t_{ki} \text{ max} = t^+_i \text{ max} + t^1_{k(i) \text{ max}} \text{ или } t_{ki} \text{ max} = t^+_i \text{ max} + t^0_{k(i) \text{ max}}.$$

Приведем алгоритм вычисления параметров срабатывания $(t'_{\text{усл}})_{\text{min}}$ и $(t'_{\text{усл}})_{\text{max}}$ для n -входового конъюнктора.

1. PR1 := 0; PR2 := 0. Если $m_4 \neq 0$, перейти к п. 14.
2. Если $p_2 \neq n$, перейти к п. 9.
3. Если $m_3 = n$, перейти к п. 18.
4. Вычислить T_1, T_{11}, T_3, T_5 ; $(t'_{\text{усл}})_{\text{min}} = T_1$;

$(t'_{\text{усл}})_{\text{max}} = T_{11}$; $(t'_{\text{усл}})^+$ не ограничено входными воздействиями. Здесь

$$T_1 = \max_{i \in M = M_1 + M_4 + M_5 + M_7} t_{ki} \text{ min}; T_{11} = \max_{i \in M = M_1 + M_3 + M_5 + M_7} t_{ki} \text{ max};$$

$$T_3 = \max_{i \in M_3} t_{ki} \text{ max}; T_5 = \max_{i \in M_7} t_{ki} \text{ max}.$$

5. Если $T_3 > T_1$, перейти к п. 8.
6. Если $T_5 > T_1$, перейти к п. 8.
7. Перейти к п. 19.
8. PR2 := 1, перейти к п. 19.
9. Если $p_3 \neq n$, перейти к п. 14.

10. Вычислить $T_2, T_{21}, T_4, T_6; (t'_{\text{усл}})_{\text{min}} = T_{21}; (t'_{\text{усл}})_{\text{max}} = T_2; (t'_{\text{усл}})^+$ не ограничено входными воздействиями. Здесь

$$T_2 = \min_{i \in M = M_2 + M_4 + M_6 + M_8} t_{ki} \text{ max}; T_{21} = \min_{i \in M = M_2 + M_3 + M_4 + M_6} t_{ki} \text{ min};$$

$$T_4 = \min_{i \in M_3} t_{ki} \text{ min}; T_6 = \min_{i \in M_6} t_{ki} \text{ min}.$$

11. Если $T_4 < T_2$, перейти к п. 8.
12. Если $T_6 < T_2$, перейти к п. 8.
13. Перейти к п. 19.
14. Вычислить T_1, T_2 .
15. Если $T_2 \leq T_1$, перейти к п. 19.
16. $(t'_{\text{усл}})_{\text{min}} = T_1; (t'_{\text{усл}})_{\text{max}} = T_2; (t'_{\text{усл}})^+ = T_2 - T_1; \text{PR1} = 1$.
17. Перейти к п. 19.
18. Вычислить $T_{11}, T_{21}; (t'_{\text{усл}})_{\text{min}} = T_{21}; (t'_{\text{усл}})_{\text{max}} = T_{11}; (t'_{\text{усл}})^+ = T_{11} - T_{21}; \text{PR1} = 1$.
19. Выход.

Для обозначения всех типов сигналов, изображенных на рисунке, используются переменные из множества $\{t_{\text{min}}, t_{\text{max}}, U, \text{PR1}, \text{PR2}\}$; здесь $t_{\text{min}}, t_{\text{max}}$ — граничные моменты времени изменения сигнала (если признаки $\text{PR1} = \text{PR2} = 0$) либо границы интервала времени неизвестного состояния сигнала (если $\text{PR1} = 1$ или $\text{PR2} = 1$); U — логическое значение устойчивого состояния сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золоторевич Л. А. Определение длительности переходного процесса в логических схемах.— Автоматика и вычисл. техника, 1977, № 6, с. 19—22.

Л. А. Золоторевич

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СХОДЯЩИХСЯ ВЕТВЛЕНИЙ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

В статье рассматриваются две задачи. Первая из них — исследование особенностей поведения дискретных устройств (ДУ) со сходящимися ветвлениями, вторая — моделирование такого вида ДУ с учетом особенностей переключения их сигналов.

ДУ задается в структурном виде с известными интервалами разбросов задержек на срабатывание логических элементов (ЛЭ) по определенным входам. Полагается, что случайная величина времени срабатывания i -го ЛЭ по входу j при переходе из 0 в 1 $t_{i(j)}^1$ распределена в заданном интервале $[t_{i(j)}^1 \text{ min}, t_{i(j)}^1 \text{ max}]$. Аналогично для перехода i -го ЛЭ из 1 в 0 величина $t_{i(j)}^0$ распределена в

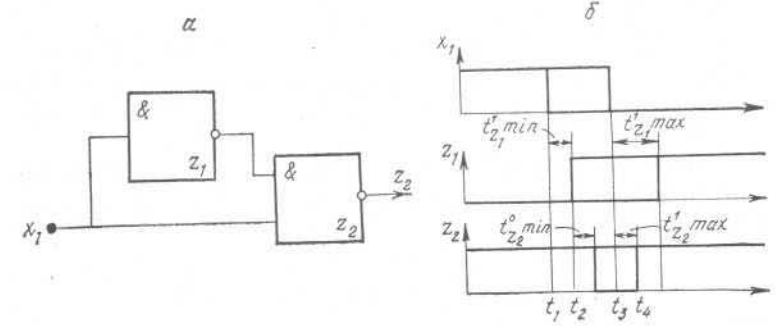


Рис. 1. Моделирование фрагмента ДУ методами, изложенными в [1, 2]

интервале $[t_{i(j)}^0 \text{ min}, t_{i(j)}^0 \text{ max}]$. (Если задержки на срабатывание ЛЭ предполагаются одинаковыми по различным входам, то индекс j , обозначающий номер входа ЛЭ, опускается.)

Рассмотрим причины появления ошибок при моделировании сходящихся ветвлений ДУ методами, изложенными в работах [1, 2]. Для этого интерпретируем результаты моделирования этими методами фрагмента ДУ, приведенного на рис. 1, а.

Ошибочный отрицательный выброс на выходе ЛЭ Z_2 при изменении входа x_1 из состояния 1 в 0 происходит из-за того, что при моделировании Z_2 не учитывается общность происхождения сигналов на его входах. Указанная общность приводит к тому, что переключение сигнала на входе x_1 в момент времени t приводит к переключению сигнала на выходе Z_1 в момент времени t_1 , где $t + t_{z_1}^1 \text{ min} \geq t_1 \geq t + t_{z_1}^1 \text{ max}$. При этом переключение сигнала Z_1 не может произойти в другой момент времени внутри интервала $[t_2, t_4]$ (рис. 1, б). Здесь $t \in T$, где $T = [t_1, t_3]; t_1 \in T_1$, где $T_1 = [t_2, t_4]$.

Введем некоторые определения. Будем считать, что выходной сигнал Z_i ЛЭ определяется его входным сигналом x_j при воздействии на ЛЭ соответствующего входного набора, если изменение x_j в интервале времени Δ_j приводит к изменению Z_i в интервале Δ_j' независимо от моментов изменений сигналов в пределах заданных интервалов на других входах ЛЭ. Интервалы времени Δ_j и Δ_j' называются интервалами определяемости.

Представим конъюнктор Z_i в виде модели, принятой в работе [1] (рис. 2, а, б). Обозначим сигнал, поступающий на входы идеального фильтрующего элемента, $Z_i' - x_j'$ в отличие от сигнала x_j , поступающего на вход Z_i (см. рис. 2, б).

Утверждение 1. Изменение сигнала x_j в момент времени t приводит к изменению сигнала x_j' в момент времени $\tau \in T$, где

$$T = [t + t_{Z_i(x_j)}^1 \min, t + t_{Z_i(x_j)}^1 \max]$$

или

$$T = [t + t_{Z_i(x_j)}^0 \min, t + t_{Z_i(x_j)}^0 \max].$$

Справедливость данного утверждения очевидна из принятой модели ЛЭ. Таким образом, интервал возможного изменения сигнала x_j' больше соответствующего интервала для сигнала x_j на разность граничных задержек на срабатывание Z_i по входу x_j и смещен вправо по временной оси на величину минимальной задержки. На рис. 2, в — д приведены примеры, иллюстрирующие определяемость выходного сигнала Z конъюнктора Z_i входным сигналом x_2' .

На рис. 2, в сигнал Z определяется входным сигналом x_2' на всем интервале его возможного изменения, т. е. Z не зависит от момента изменения сигнала на входе x_1' (сигналом x_1' выходной сигнал Z не определяется. В дальнейшем в таком случае будем говорить, что интервал определяемости Z сигналом x_1' равен нулю). На рис. 2, г, д сигнал Z зависит только от сигнала x_2' при изменении последнего не на всем интервале времени его возможного изменения, а в пределах временного интервала, указанно-го штриховкой. В данном случае интервал определяемости

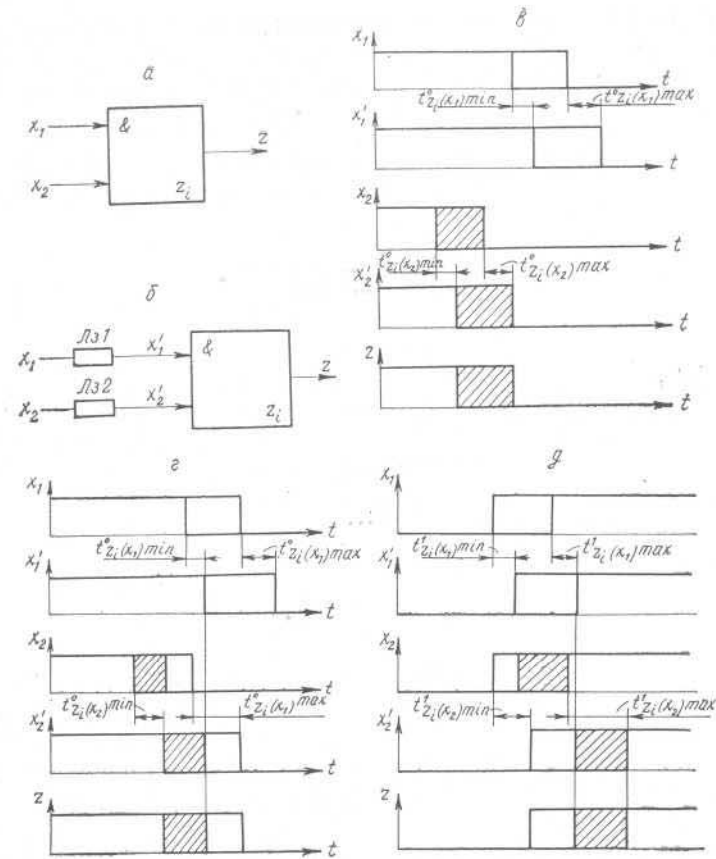


Рис. 2. Временные диаграммы переключения конъюнктора

выходного сигнала Z входным x_2' не совпадает с интервалом времени его возможного изменения.

Утверждение 2. Изменение входного сигнала x_1' (x_2' на рис. 2, б), определяющего выходной сигнал ЛЭ Z_i , в момент времени t в пределах интервала определяемости приводит к изменению последнего в тот же момент времени.

На основании утверждения 2 интервалы определяемости для сигналов Z_i и x_j' равны и совпадают. Для вычисления интервала изменения входного сигнала x_j , соответ-

ствующего интервала определяемости сигнала x'_j , необходимо последний уменьшить на разность граничных задержек на срабатывание Z_i по входу x_j и сместить влево по оси времени на величину $t_{Z_i(x_j)}^1 \min(t_{Z_i(x_j)}^0 \min)$.

Рассмотрим сходящееся ветвление общего вида, главный элемент которого — Z_η , источник ветвящегося сигнала — Z_w (рис. 3).

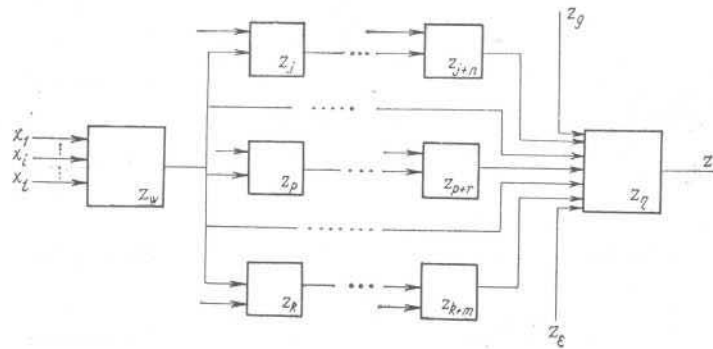


Рис. 3. Сходящееся ветвление общего вида

Элементы $Z_j, \dots, Z_{j+n}, Z_k, \dots, Z_{k+m}, Z_p, \dots, Z_{p+r}$ и т. д. будем называть элементами ветвей. Сигналы, поступающие на их входы и не зависящие от ветвящегося сигнала, будем называть боковыми. В общем случае сигнал в любых точках ветвей j, \dots, p, \dots, k зависит не только от сигнала Z_w , но и от боковых сигналов. В результате этого сигналы $Z_{j+n}, \dots, Z_{k+m}, \dots, Z_{p+r}$ могут определяться сигналом Z_w не на всем интервале времени возможного изменения (рис. 2, в), а на некоторой его части (рис. 2, г, д) или не определяются им совсем.

Утверждение 3. Если сигнал $Z_{j+\beta+1}$ ($\beta \leq n$), распространяющийся по ветви j , в интервале времени $\Delta_{j+\beta} \neq 0$ определяется сигналом $Z_{j+\beta}$, а сигнал $Z_{j+\beta}$ в интервале времени $\Delta_{j+\beta-1} \neq 0$ — сигналом $Z_{j+\beta-1}$, то сигнал $Z_{j+\beta+1}$ определяется сигналом $Z_{j+\beta-1}$ в том случае, если $\Delta_{j+\beta} \cap \Delta_{j+\beta-1} \neq 0$.

На основании изложенного ясно, что некоторые из сигналов ветвей, поступающих на входы главного элемента Z_η , могут определяться сигналом Z_w , а некоторые из них могут иметь интервал определяемости, равный

нулю. Если сходящееся ветвление имеет S ветвей, из которых α ветвей вырабатывают сигналы, поступающие на входы Z_η и определяемые сигналом Z_w , то при $\alpha \leq 1$ моделирование главного ЛЭ по методикам, изложенным в работах [1, 2], не приведет к ошибочному результату. Если $1 < \alpha \leq S$, моделирование Z_η необходимо осуществлять с учетом общности происхождения сигналов боковых ветвей. С этой целью при моделировании ЛЭ ветвей дополнительно необходимо рассчитывать интервалы определяемости сигналов, вырабатываемых на их выходах, ветвящимся сигналом Z_w .

Пусть $m_1(m_2)$ — число входов конъюнктора, составляющих множество $M_1(M_2)$, состояние которых изменилось из 0 в 1 (из 1 в 0); $m_1 + m_2 = n$; $x_w \in (M_1 \cup M_2)$; $t_{x'_j} \min(t_{x'_j} \max)$ — минимально (максимально) возможное время изменения сигнала на входе x'_j .

Приведем алгоритм вычисления интервала определяемости выходного сигнала Z входным x'_w на этапе вычисления параметров срабатывания n -входового конъюнктора при переключениях на входах кратности 1.

1. $T_1 := 0$; $T'_1 := 0$; $T_2 := 0$; $T'_2 := 0$; $T_3 := 0$; $T'_3 := 0$; $T_4 := 0$;
2. Если $M_1 = \emptyset$, перейти к п. 4.
3. Вычислить $T_1 = \max_{x'_j \in M_1} t_{x'_j} \min$; $T'_1 = \max_{x'_j \in M_1} t_{x'_j} \max$.
4. Если $M_2 = \emptyset$, перейти к п. 6.
5. Вычислить $T_2 = \min_{x'_j \in M_2} t_{x'_j} \max$; $T'_2 = \min_{x'_j \in M_2} t_{x'_j} \min$.
6. Если $m_1 = n$, то $(t'_{\text{усл}}) \min := T_1$; $(t_{\text{усл}}) \max := T'_1$; $(t'_{\text{усл}})^+$ — не ограничено входными воздействиями; иначе — перейти к п. 12.
7. Если $T'_1 \neq t'_{x'_w} \max$, перейти к п. 20.
8. $M_1 := M_1 \setminus x'_w$.
9. $T_3 := \max_{x'_j \in M_1} t_{x'_j} \max$.
10. Если $T_3 > t_{x'_w} \min$, перейти к п. 20.
11. $T_3 := t_{x'_w} \min$. Перейти к п. 20.
12. Если $m_2 = n$, то $(t'_{\text{усл}}) \min := T'_2$; $(t_{\text{усл}}) \max := T_2$; $(t_{\text{усл}})^+$ — не ограничено входными воздействиями, иначе — к п. 20.

13. Если $T_2' \neq t_{x_w}' \min$, перейти к п. 20.
14. $M_2' = M_2 \setminus x_w'$.
15. $T_4' = \min_{x_j' \in M_2} t_{x_j}' \min$.
16. Если $T_4' < t_{x_w}' \max$, перейти к п. 20.
17. $T_4' = t_{x_w}' \max$.
18. Если $T_2 > T_1$, то $(t'_{\text{усл}}) \min = T_1$, иначе — перейти к п. 20.
19. Вычислить $(t'_{\text{усл}})' = T_2 - T_1$.
20. Выход.

Границы интервала определяемости выходного сигнала конъюнктора сигналом x_w' будут зафиксированы — переменными T_1' , T_2' , T_3 и T_4 . При этом если $x_w \in M_1$, то интервал определяемости равен $[T_3, T_1']$, если $x_w \in M_2$ — $[T_2', T_4]$. Если T_3 и T_4 равны нулю, то выходной сигнал не определяется сигналом x_w .

Рассмотрим моделирование главного элемента сходящегося ветвления Z_η (см. рис. 3) с S сигналами боковых ветвей $Z_{j+n}, \dots, Z_{p+r}, \dots, Z_{h+m}$ и боковыми сигналами Z_ξ и Z_ε . Интересным для рассмотрения является случай, когда $1 < \alpha \leq S$. (При $\alpha \leq 1$ будем говорить, что общность происхождения сигналов боковых ветвей сведена к нулю.) Положим, что только Z_{h+m} и Z_{j+n} определяются Z_w . Преобразуем функцию, реализуемую главным элементом Z_η , используя закон сочетания, к следующему виду:

$$\begin{aligned} Z_\eta' &= Z_{k+m} \wedge \dots \wedge Z_{p+v} \wedge \dots \wedge Z_{j+n} \wedge Z_\xi \wedge Z_\varepsilon = \\ &= (Z_{k+m} \wedge Z_{j+n}) \wedge (Z_\xi \wedge Z_\varepsilon \wedge \dots \wedge Z_{p+r} \wedge \dots). \end{aligned}$$

При моделировании Z_η будем выполнять сначала действия над сигналами боковых ветвей, определяемыми Z_w . Если Z_w определяет Z_{j+n} в пределах интервала времени L_1 , а Z_{h+m} — в пределах интервала времени L_2 ($L_1, L_2 \in L$), где L — интервал возможного изменения Z_w , то необходимо вычислить $L' = L_1 \cap L_2$, в пределах которого Z_w определяет сигналы Z_{h+m} и Z_{j+n} , а также интервалы времени изменения Z_{h+m} и Z_{j+n} , соответствующие L' .

В зависимости от структурных особенностей сходящегося ветвления (типа логических элементов, боковых сигналов элементов ветвей) и комбинаций входных сигналов

интервалы определяемости сигналов Z_{j+n} и Z_{h+m} сигналом Z_w могут быть равными соответствующим интервалам их возможного изменения либо составляют некоторую их часть.

Моделирование главного элемента Z_η с учетом общности происхождения сигналов боковых ветвей дает возможность получить более точные результаты моделирования логических схем со сходящимися ветвлениями по сравнению с методом, изложенным в работе [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Золоторевич Л. А. Определение длительности переходного процесса в логических схемах. — Автоматика и вычисл. техника, 1977, № 6, с. 19—22.
2. Chappel S. G., Yau S. S. Simulation of large asynchronous logic circuits using an ambiguous gate model. — AFIPS Conf. Proc., 1971, 39, p. 651—662.

З. Н. Емельяненко, Л. А. Золоторевич

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ОПИСАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ ИХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Большинство существующих методов логического моделирования дискретных устройств не требуют расположения в определенном упорядоченном виде уравнений узлов схемы в описываемой ДУ системе уравнений или описаний логических элементов в списке связности. Однако часто при моделировании ДУ большого размера время моделирования может стать неприемлемым для практики. При организации и построении моделирующих систем применяются различные способы повышения быстродействия: использование упорядоченного в порядке распространения сигналов описания элементов ДУ (ранжирование схемы), расположение описания элементов ДУ в порядке возрастания их номеров, применение компиляционного, событийного методов моделирования и др.

Ранжированное описание схемы используется при построении систем, основанных на методах Эйхельбергера и многозначного моделирования, и позволяет значительно повысить быстродействие за счет уменьшения количества вычислений ЛЭ ДУ. Расположение описаний ЛЭ в порядке возрастания их номеров применяется при построении интерпретационных моделей и приводит к повышению быстродействия за счет прямой адресации к выбранным элементам.

Компиляционные модели отличаются значительно более высоким быстродействием по сравнению с интерпретационными, однако требуют намного большего объема оперативной памяти моделирующей ЭВМ, что важно

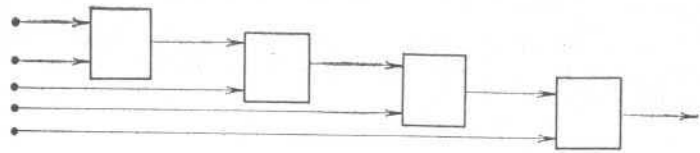


Рис. 1. Пример ДУ

при моделировании ДУ размером порядка 10 тыс. ЛЭ. Кроме того, некоторые методы логического моделирования (например, событийное, дедуктивное и т. д.) плохо совмещаются или несовместимы с компиляционным построением программы.

Эффективное средство повышения быстродействия модели — использование событийного принципа вычисления ЛЭ, который успешно применяется при разработке моделирующих программ. При совмещении событийного моделирования с методами, учитывающими временные параметры ЛЭ и линий связи, возникающие события упорядочиваются во времени, что приводит к моделированию логических элементов в порядке, соответствующем возникновению событий на входах ЛЭ. При этом даже в случае моделирования комбинационной логики элементы могут рассчитываться многократно (рис. 1).

При построении программ моделирования логических схем для повышения быстродействия моделей целесообразно совмещать метод событийного моделирования с ранжированием и расположением описаний элементов ДУ в порядке возрастания их номеров. Такой подход позво-

ляет формировать множества возбужденных элементов в порядке возрастания их рангов. Расположение описаний элементов в исходном описании схемы по возрастанию номеров и вместе с тем по рангам облегчает эту задачу. При временном моделировании схемы элементы контуров в множестве возбужденных элементов необходимо упорядочивать тем не менее во времени для исключения возможных ошибок моделирования.

Разработан комплекс программ упорядочения описаний элементов схемы общего вида и их перекодировки. Описание схемы общего вида представляется так, как указано на рис. 2: сначала описываются элементы комби-

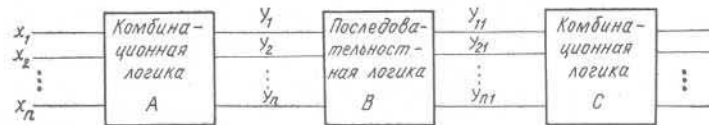


Рис. 2. Расположение описаний элементов ДУ для повышения быстродействия модели

национной логики, нагруженные на внешние входы ДУ (блок А), затем в условном порядке элементы замкнутых контуров (блок В), после чего описываются элементы комбинационной логики (блок С) [1].

Комбинационная логика ранжируется с учетом порядка срабатывания элементов при работе схемы. При этом порядок расположения описаний элементов может не совпадать с классическим порядком расположения элементов по рангам, применяемым в работе [2].

Элементы замкнутых контуров ранжируются условно. Обнаружение контуров осуществляется по методу последовательного перебора путей, начиная от первого непроанжированного элемента в направлении распространения сигналов в схеме. Точки идентификации контуров определяются, как в [2].

Схема задается в структурном виде. Исходные данные для программы ранжирования — описание логических элементов схемы и связей между ними, типов ЛЭ, первичных входов и выходов схемы с указанием номеров контактов.

Выходная информация представляется в следующем виде (рис. 3):

RANGI — однобайтовая таблица длины N , где N — число выходов элементов схемы и первичных входов. Здесь располагаются динамическая информация о состоянии элементов и некоторая сигнальная информация (признак контурного элемента и др.). При этом k -я строка таблицы относится к k -му выходу элементов схемы или первичному входу. Информация о первичных входах

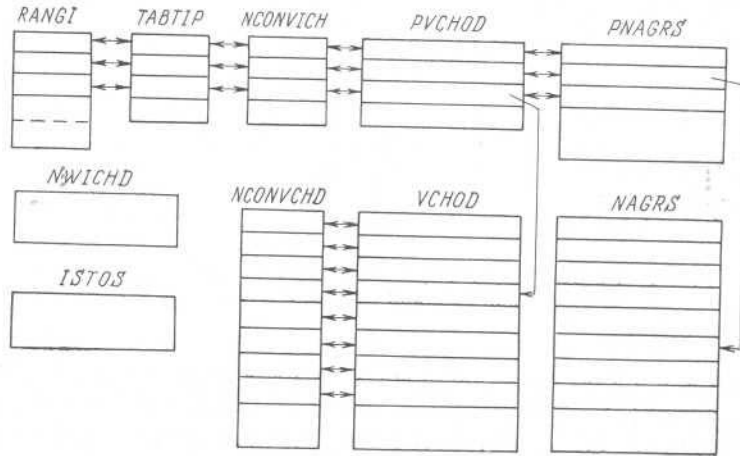


Рис. 3. Внутреннее представление информации для моделирования

располагается с $M+1$ -й строки, где M — число выходов элементов схемы.

TABTIP — однобайтовая таблица длины M . Здесь расположены номера типов соответствующих элементов схемы.

NCONVICH — однобайтовая таблица длины M с номерами контактов соответствующих выходов элементов.

PVCHOD и PNAGRS — двухбайтовые таблицы длины M и N соответственно, указывающие расположение информации о входах и нагрузках данного ЛЭ в таблицах VCHOD и NAGRS (единичное состояние старшего бита таблицы VCHOD указывает на инверсию входного сигнала).

ISTOS и NWICHD — двухбайтовые таблицы, содержа-

щие номера элементов, являющихся источниками обратных связей и выходов схемы.

Комплекс программ, написанных на языке Ассемблер, может обрабатывать схемы порядка 5—10 тыс. ЛЭ, что зависит от размера оперативной памяти моделирующей ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иоффе М. И. Алгоритм событийного моделирования логических схем общего вида. — Труды ИНЭУМ, 1976, вып. 5.
2. Золоторевич Л. А., Тигюра А. Н. Упорядочение по рангам вершин ориентированного графа. — В сб.: Математическое обеспечение ЭВМ «Минск-32». Минск, 1975, вып. 15.