EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 24. KÖIDE
FÜÜSIKA * MATEMAATIKA. 1975, NR. 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 24
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1975, № 2

https://doi.org/10.3176/phys.math.1975.2.01

УДК 681.142.01

А. СИЙМОН

НОВЫЕ ОПЕРАТОРЫ В ЯЗЫКЕ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

С целью сделать язык для аналитического описания логических схем [1–9] более удобным для его пользователей, в настоящей работе предлагается ввести два новых оператора: оператор триггера и оператор дифференцирования вместо ранее предложенных форм. Кроме того, для этих операторов даются алгоритмы определения временных координат существования [4] сигнала, а также алгоритмы определения других его физических свойств [10] на выходе соответствующего логического элемента (или логической схемы, если данный оператор реализуется более, чем одним логическим элементом).

Оператор триггера

В [3] были введены в язык и определены математически операторы статического и динамического триггеров с раздельными входами вида (1), (3) и со счетным входом вида (2), (4)

$$T_{\Omega_t}=L(\overset{*}{x}_{\Omega_t},\ \overset{*}{y}_{\Omega_p}),\tag{1}$$

$$T_{\Omega_t}=L(T_{\Omega'_t}\boxed{+}\overset{*}{z}_{\Omega_w}),\tag{2}$$

$$\overset{*}{T}_{\Omega_t}=L_\tau(\overset{*}{x}_{\Omega_t},\ \overset{*}{y}_{\Omega_p}),\tag{3}$$

$$\overset{*}{T}_{\Omega_t}=L_\tau(\overset{*}{T}_{\Omega'_t}\boxed{+}\overset{*}{z}_{\Omega_w}),\tag{4}$$

где $T_{\Omega'_t}$ и $\overset{*}{T}_{\Omega'_t}$ — значения сигнала на единичном выходе соответственно статического и динамического триггера до поступления сигнала $\overset{*}{z}_{\Omega_w}$ на его счетный вход (назовем сигналы $T_{\Omega'_t}$ и $\overset{*}{T}_{\Omega'_t}$ предысторией выходного сигнала соответствующего триггера);

* — обозначает импульсный сигнал (для потенциального сигнала знак «*» отсутствует).

С помощью суперпозиции операторов (1) и (2) был получен оператор статического комбинированного триггера вида

$$T_{\Omega_t}=L(L(\overset{*}{x}_{\Omega_t},\ \overset{*}{y}_{\Omega_p})\boxed{+}\overset{*}{z}_{\Omega_w}),\tag{5}$$

а с помощью суперпозиции операторов (3) и (4) — оператор динамического комбинированного триггера вида

$$\overset{*}{T}_{\Omega_t}=L_\tau(L_\tau(\overset{*}{x}_{\Omega_t},\ \overset{*}{y}_{\Omega_p})\boxed{+}\overset{*}{z}_{\Omega_w}).\tag{6}$$

В язык для аналитического описания логических схем целесообразно ввести единый оператор триггера для всех типов статического триггера в виде (7) и для всех типов динамического триггера в виде (8):

$$T_{\Omega_l} = L(T_{\Omega'_l}, \overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}, \overset{*}{z}_{\Omega_w}), \tag{7}$$

$$\overset{*}{T}_{\Omega_l} = L(\overset{*}{T}_{\Omega'_l}, \overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}, \overset{*}{z}_{\Omega_w}, \overset{*}{\tau}_{\Omega_\nu}). \tag{8}$$

Причинами введения в язык новых операторов вида (7) и (8) являются следующие обстоятельства:

1) упрощается автоматизированный синтез схем;

2) в списке элементов [4] существует только один элементный оператор триггера;

3) для статического комбинированного триггера иногда существует только один логический элемент;

4) операторы комбинированных триггеров вида (5) и (6) усложняют процедуру минимизации количества триггеров в логических схемах;

5) операторы триггеров (7) и (8) позволяют для всех видов триггеров учесть предысторию в поведении выходных сигналов триггеров;

6) оператор динамического триггера вида (8) позволяет в явном виде показать сигнал на синхронизирующем входе соответствующего триггера.

Операторы триггеров вида (7) и (8) — соответственно четырехместные и пятиместные, и их операнты непереставимы. На втором, третьем и четвертом месте стоят символы сигналов соответственно единичного, нулевого и счетного входов триггера. На пятом месте в (8) стоит символ сигнала синхронизирующего входа. На первом месте стоит предыстория поведения сигнала на единичном выходе триггера до поступления на его входы сигналов, указанных оперантами на втором, третьем и четвертом месте соответствующего оператора триггера. Если какой-нибудь оперант отсутствует, то на его место ставят черточки. Предысторию в операторы вида (7) и (8) ставят только тогда, когда это требуется, в противном случае ее заменяют черточкой на первом месте соответствующего оператора триггера.

Покажем возможности новых операторов на примере представления операторов статического триггера вида (1), (2) и (5) через новый оператор статического триггера вида (7):

$$L(\overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}) = L(-, \overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}, -),$$

$$L(T_{\Omega'_l} \boxed{+} \overset{*}{z}_{\Omega_w}) = L(T_{\Omega'_l}, -, -, \overset{*}{z}_{\Omega_w}), \tag{9}$$

$$L(L(\overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}) \boxed{+} \overset{*}{z}_{\Omega_w}) = L(-, \overset{*}{x}_{\Omega_l}, \overset{*}{y}_{\Omega_p}, \overset{*}{z}_{\Omega_w}). \tag{10}$$

Выражения для операторов динамического триггера вида (3), (4) и (6) будут аналогичными.

Как видно из выражений (9) и (10), для триггеров с раздельными входами и комбинированного триггера новые операторы позволяют указать предысторию, если это понадобится в самом операторе триггера.

Что касается математического определения операторов триггера вида (7) и (8), то для каждого конкретного случая это сделаем по методике, разработанной в [3] для частных случаев операторов триггеров вида (1)—(4).

Временные координаты существования сигнала на единичном выходе статического триггера вида (7) определим по алгоритму, представленному в [6], со следующей поправкой:

$$\mathfrak{A} = \bigcup_{\mathfrak{S}} \Omega_n \cup \mathfrak{B}_\alpha \cup \mathfrak{B}_\beta.$$

Для динамического триггера вида (8) искомое множество Ω_l найдем путем последовательного объединения алгоритмов определения временных координат существования сигнала на единичном выходе статического триггера вида (7) и потенциально-импульсного вентиля из работы [5].

При переходе от логических схем к физическим схемам и для операторов триггеров вида (7) и (8) нужно образовать векторные переключательные функции (ВПФ-функции), учитывающие различные физические свойства информационных сигналов. Такими функциями для триггеров вида (7) и (8) будут соответственно:

$$T_{\Psi_l} = L(T_{\Psi'_l}, \overset{*}{x}_{\Psi_l}, \overset{*}{y}_{\Psi_p}, \overset{*}{z}_{\Psi_w}), \tag{11}$$

$$\overset{*}{T}_{\Psi_l} = L(\overset{*}{T}_{\Psi'_l}, \overset{*}{x}_{\Psi_l}, \overset{*}{y}_{\Psi_p}, \overset{*}{z}_{\Psi_w}, \overset{*}{\tau}_{\Psi_v}). \tag{12}$$

В (11) и (12) определение искомых множеств Ψ_l произведем по методам, изложенным в [10] для всех видов триггеров.

Замечание. При синтезе микропрограммных автоматов иногда целесообразно разбить время функционирования автомата на более мелкие отрезки времени, например, на отрезки времени выполнения отдельных микропрограмм. В этом случае в алгоритмы определения координат существования сигналов на выходе логических элементов [5], схемно реализующих операции вида (13)—(15)

$$x_{\Omega_l} = \bigwedge_{i \in I} x_{\Omega_i}, \tag{13}$$

$$x_{\Omega_l} = \bigvee_{i \in I} x_{\Omega_i}, \tag{14}$$

$$x_{\Omega_l} = \overline{(x_{\Omega_i})}, \tag{15}$$

где I — какое-то множество i, следует внести поправки.

Для конъюнкции сигналов вида (13) в алгоритме определения множества Ω_l из [5] величины ω_{lg} и $t_{lg\beta}$ находим следующим образом:

$$\omega_{lg} = \begin{cases} t_{lg\alpha} \rightarrow, \text{ если } (\forall i)\,((i \in I) \cdot (j = j') \cdot (\omega_{ij} = t_{ij\alpha} \rightarrow) \cdot (g = g')); \\ \omega_{i_1 i_2 \ldots i_n j_1 j_2 \ldots j_n} \quad \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

$$t_{lg\beta} = \begin{cases} \text{не определяется, если } (g = g') \cdot (\omega_{lg} = t_{lg\alpha} \rightarrow); \\ t_{i_1 i_2 \ldots i_n j_1 j_2 \ldots j_n \beta} \quad \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Те же величины в алгоритме определения Ω_l для дизъюнкции сигналов вида (14) имеют следующий вид:

$$t_{lg\beta} = \begin{cases} \text{не определяется, если } (\forall i)\,((i \in I) \cdot \\ \cdot (j = j') \cdot (\omega_{ij} = t_{ij\alpha} \rightarrow) \cdot (g = g')); \\ t_{qu\beta} \quad \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

$$\omega_{lg} = \begin{cases} t_{lg\alpha} \rightarrow, \text{ если } (\forall i)\,((i \in I) \cdot (j = j') \cdot \\ \cdot (\omega_{ij} = t_{ij\alpha} \rightarrow) \cdot (g = g'); \\ t_{lg\alpha} \dotdiv t_{lg\beta} \quad \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

В алгоритме определения множества Ω_l для отрицания потенциального сигнала вида (15) величины $t_{lg\beta}$ и ω_{lg} из [5] примут вид:

$$t_{lg\beta} = \begin{cases} \sup \omega'_{lg}, \text{ если } \sup \omega'_{lg} = t_{k_n}; \\ \text{в противном случае не определяется.} \end{cases}$$

$$\omega_{lg} = \begin{cases} t_{lg\alpha} \div t_{lg\beta}, & \text{если } t_{lg\beta} = \sup \omega'_{lg}; \\ t_{lg\alpha} \rightarrow & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Определение примененных выше обозначений дано в [5] при соответствующих алгоритмах.

Оператор дифференцирования

Поскольку форма предложенного в [4] определения оператора дифференцирования недостаточно практична, дадим здесь его новые определения.

Назовем оператором дифференцирования на временной координате t_q оператор вида

$$\overset{*}{u}_{t_q} = D_{t_q}(x_{\Omega_l}).$$

Определим его следующим образом:

$\overset{*}{u}_{t_q} = \overset{*}{1}_{t_q}$, если физическая величина (напр., напряжение), представляющая сигнал x_{Ω_l} на отрезке времени $t_q \div (t_q + \delta_{\min})$, переходит с высокого уровня на низкий уровень или наоборот; $\overset{*}{u}_{t_q} = 0$, если физическая величина, представляющая сигнал на отрезке времени $t_q \div (t_q + \delta_{\min})$, сохраняет свой постоянный уровень. Величина $\delta_{\min}$ является минимально допустимым временем между снятием информации с триггера и следующей ее записью.

Введем предикаты:

$G(x_{\Omega_l})$ — истинный, если полярность сигнала x_{Ω_l} совпадает с желаемой полярностью сигнала $x_{\Omega_l'}$, и ложный в противном случае;

$C(x_{\Omega_l})$ — истинный, если единичное значение сигнала x_{Ω_l} представлено положительным выбросом физической величины, представляющей сигнал x_{Ω_l}, и ложный в противном случае;

$A(x_{\omega_{ij}})$ — истинный, если конечную координату $t_{ij\beta}$ для отрезка времени ω_{ij} опускают, и ложный в противном случае.

Множество отрезков времени Ω_i существования сигнала x_{Ω_l} представим в следующем виде:

$$\begin{cases} \Omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \ldots, \omega_{ij}, \ldots, \omega_{ij'}\}, \\ \omega_{ij} = \begin{cases} t_{ij\alpha} \rightarrow, & \text{если } A(x_{\omega_{ij}}); \\ t_{ij\alpha} \div t_{ij\beta}, & \text{если } \sim A(x_{\omega_{ij}}). \end{cases} \end{cases}$$

Образуем множества Q_α, Q'_α, Q_β и Q'_β:

$(\forall j)\,((\Omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \ldots, \omega_{ij}, \ldots, \omega_{ij'}\}) \cdot ((\omega_{ij} =$
$= t_{ij\alpha} \div t_{ij\beta}) \vee (\omega_{ij} = t_{ij\alpha} \rightarrow)) \cdot (t_{ij\alpha} \neq t_{i(j-1)\beta}) \supset t_{ij\alpha} \in Q_\alpha)$;

$(\forall j)\,((\Omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \ldots, \omega_{ij}, \ldots, \omega_{ij'}\}) \cdot ((\omega_{ij} =$
$= t_{ij\alpha} \div t_{ij\beta}) \vee (\omega_{ij} = t_{ij\alpha} \rightarrow)) \cdot (t_{ij\alpha} = t_{i(j-1)\beta}) \supset t_{ij\alpha} \in Q'_\alpha)$;

$(\forall j)\,((\Omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \ldots, \omega_{ij}, \ldots, \omega_{ij'}\}) \cdot (\omega_{ij} =$
$= t_{ij\alpha} \div t_{ij\beta}) \cdot (t_{ij\beta} \neq t_{i(j+1)\alpha}) \supset t_{ij\beta} \in Q_\beta)$;

$(\forall j)\,((\Omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \ldots, \omega_{ij}, \ldots, \omega_{ij'}\}) \cdot (\omega_{ij} =$
$= t_{ij\alpha} \div t_{ij\beta}) \cdot (t_{ij\beta} = t_{i(j+1)\alpha}) \supset t_{ij\beta} \in Q'_\beta)$.

Сам оператор дифференцирования имеет вид

$$D^*_{\Omega_i} = D(x_{\Omega_i})$$

и определяется следующим образом:

$$\begin{cases} D^*_{\Omega_l} = D(x_{\Omega_i}) = \begin{cases} \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Omega_i}), \text{ если } G(D_{t_q}(x_{\Omega_i})) \cdot (t_q = t_{ij\alpha}); \\ \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Omega_i}), \text{ если } G(D_{t_q}(x_{\Omega_i})) \cdot (t_q = t_{ij\beta}); \\ 0 \text{ в остальных случаях.} \end{cases} \\ \Omega_l = \begin{cases} Q_\alpha, \text{ если } D(x_{\Omega_i}) = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Omega_i}); \\ Q_\beta, \text{ если } D(x_{\Omega_i}) = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Omega_i}). \end{cases} \end{cases}$$

В классе ВПФ-функций оператор дифференцирования имеет следующий вид:

$$\begin{cases} D^*_{\Psi_l} = D(x_{\Psi_i}) \\ \Psi_l = \{\Omega_l, \Omega_l^{(1)}, \Omega_l^{(2)}, \Omega_l^{(3)}, \Omega_l^{(4)}, \ldots\}. \end{cases}$$

Элементы множества Ψ_l, кроме $\Omega_l^{(3)}$, выразим аналогично [9]. Для определения $\Omega_l^{(3)}$, который является множеством из двух элементов — u^*_{l0} и u^*_{l1}, обозначим амплитудное значение физической величины, представляющей сигнал $D^*_{\Psi_l}$ для оператора $D_{t_q}(x_{\Psi_i})$ на отрезке времени $t_q \div (t_q + \delta_{\min})$, через $u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i}))$. Сами величины u^*_{l0} и u^*_{l1} определим по приведенным ниже выражениям:

$$u^*_{l0} = \begin{cases} \max\limits_{Q'_\alpha} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot C(D^*_{\Psi_l}); \\ \max\limits_{Q'_\beta} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot C(D^*_{\Psi_l}); \\ \min\limits_{Q'_\alpha} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot \sim C(D^*_{\Psi_l}); \\ \min\limits_{Q'_\beta} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot \sim C(D^*_{\Psi_l}). \end{cases}$$

$$u^*_{l1} = \begin{cases} \min\limits_{Q_\alpha} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot C(D^*_{\Psi_l}); \\ \min\limits_{Q_\beta} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot C(D^*_{\Psi_l}); \\ \max\limits_{Q_\alpha} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\alpha} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot \sim C(D^*_{\Psi_l}); \\ \max\limits_{Q_\beta} u^*(D_{t_q}(x_{\Psi_i})), \text{ если } (D^*_{\Psi_l} = \bigvee\limits_{t_q \in Q_\beta} D_{t_q}(x_{\Psi_i})) \cdot \sim C(D^*_{\Psi_l}). \end{cases}$$

Если значение u^*_{l0} или u^*_{l1} выходит за пределы отображения соответственно «0» или «1», то на выходе l-го логического элемента устанавливаем импульсный усилитель, а элементный оператор этого импульсного усилителя вносим в список элементов [4].

Новые формы операторов триггера и дифференцирования существенно повышают наглядность записи схем и облегчают процедуры автоматизации синтеза схем на основе ВП- и ВПФ-функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович З. Л., Тр. Междунар. симп. по теории релейных устройств и конечных автоматов (ИФАК), Теория конечных и вероятностных автоматов, М., 1965, с. 215.
2. Рабинович З. Л., Кибернетика, № 3, 36 (1968).
3. Рабинович З. Л., Кибернетика, № 4, 25 (1968).
4. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **17**, 270 (1968).
5. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **17**, 391 (1968).
6. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **18**, 347 (1969).
7. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **19**, 172 (1970).
8. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **20**, 468 (1971).
9. Рабинович З. Л., Элементарные операции в вычислительных машинах, Киев, 1966.
10. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **22**, 131 (1973).

Институт кибернетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
12/III 1974

A. SIIMON

UUED OPERAATORID LOOGILISTE SKEEMIDE ANALÜÜTILISES KIRJELDAMISKEELES

Esitatakse kaks uut operaatorit loogiliste skeemide analüütilise kirjeldamiskeele jaoks. Nendeks on nii staatilise ja dünaamilise trigeri kui ka potentsiaalse signaali diferentseerimise operaator. Need operaatorid on määratud vektoraja ja vektori ümberlülimise funktsioonide klassi jaoks. Nendega võib asendada seni selles keeles eksisteerinud vastavad operaatorid.

A. SIIMON

NEW OPERATORS IN THE LANGUAGE OF ANALYTICAL DESCRIBING OF LOGICAL SCHEMES

Two new operators for the language of analytical describing of logical schemes are represented. They are: operator for static and dynamic flip-flops and operator for the differentiation of pulse signals. These operators are defined for the classes of the vector-time and the vector switching functions, and they replace the old operators that were in use in this language hereto.