EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 22. KOIDE
FÜÜSIKA * MATEMAATIKA. 1973, NR. 3

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 22
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1973, № 3

https://doi.org/10.3176/phys.math.1973.3.03

УДК 681.142.01

А. СИЙМОН

КОНЪЮНКЦИЯ СИГНАЛОВ В ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ СТРУКТУРЕ

В данной работе для аналитического описания логических схем применяется язык, разработанный в [1–7].

Рассмотрим схемную реализацию в потенциальной элементной структуре [8] конъюнкции сигналов вида

$$c_{\Omega_l} = \bigwedge_{\mathfrak{E}_1} \Gamma_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}} \tag{1}$$

и

$$c_{\Omega_l} = \underset{\mathfrak{E}_1}{\&} \Gamma_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}} \tag{2}$$

при выполнении условий

$$(\forall i)\,(\forall j)\,(((\omega_{ij}\in\Omega_{i\,\max})\cdot(i\in\mathfrak{E}_1)\cdot(\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\dot{-}t_{ij\beta})\supset(t_{ij\beta}-t_{ij\alpha}\geqslant 2\delta_{\min}))\vee$$
$$\vee((\omega_{ij}\in\Omega_{i\,\max})\cdot(i\in\mathfrak{E}_1)\cdot(\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\rightarrow)\supset(t_{k_0}-t_{ij\alpha}\geqslant 2\delta_{\min}))) \tag{3}$$

Здесь применены следующие обозначения:

$\bigwedge$ — знак обычной конъюнкции сигналов;

$\&$ — знак конъюнкции сигналов, инвариантной их временным координатам (конъюнкция ИВК) [1];

$\mathfrak{E}_1$ — множество всех порядковых номеров i элементов списка (ЭС) [4], выходные сигналы которых участвуют в образовании конъюнкции сигналов вида (1) и (2);

$\Omega_i^{(l)}$ — подмножество множества Ω_i;

$\Omega_{i\max}$ — значение множества Ω_i с максимальной мощностью;

$$\Gamma_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}} = \begin{cases} \bigvee_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}}; \\ \bigwedge_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}}; \\ \underset{\Omega_i^{(l)}}{\&} \tilde{x}_{\omega_{ij}}; \end{cases}$$

t_{k_0} — последнее значение дискретного времени t_k;

$\delta_{\min}$ — минимально допустимое время между снятием старой и записью новой информации в данном триггере.

Разобьем множество $\mathfrak{E}_1$ на непересекающиеся подмножества $\mathfrak{E}_1^{(u)}$ (где $u=1,\ 2$) следующего вида:

$$(\forall i)\,((i\in\mathfrak{E}_1)\cdot S(\tilde{x}_{\Omega_i})\supset i\in\mathfrak{E}_1^{(1)}),$$

$$(\forall i)\,((i\in\mathfrak{E}_1)\cdot \sim S(\tilde{x}_{\Omega_i})\cdot \overline{S((\tilde{x}_{\Omega_i}))}\supset i\in\mathfrak{E}_1^{(2)}).$$

Разобьем полученные множества $\mathfrak{E}_1^{(u)}$ на подмножества $\mathfrak{E}_1^{(u1)}$ и $\mathfrak{E}_1^{(u2)}$

$$\begin{cases} (\forall i)\,((i\in\mathfrak{E}_1^{(u)})\cdot((\underset{\Omega_i^{(l)}}{\Gamma}\tilde{x}_{\omega_{ij}}=\bigvee_{\Omega_i^{(l)}}\tilde{x}_{\omega_{ij}})\vee(h(\Omega_i^{(l)})=1))\supset i\in\mathfrak{E}_1^{(u1)}); \\ \mathfrak{E}_1^{(u2)}=\mathfrak{E}_1^{(u)}\setminus\mathfrak{E}_1^{(u1)}; \\ u=1,\ 2, \end{cases}$$

где $h(\ldots)$ — мощность множества, символ которого заключен в круглые скобки.

1. Схемная реализация обычной конъюнкции сигналов и случаи совпадающей с ней реализации конъюнкции ИВК

Имеются два случая схемной реализации обычной конъюнкции сигналов вида (1) и конъюнкции ИВК вида (2):

1) случай, который дает совпадение потенциальных сигналов вместе с выделением некоторой части из него;

2) случай, который дает совпадение потенциальных сигналов без такого выделения.

Случай 1. Если выполняются условия (4), то образуем обычную конъюнкцию сигналов c_{Ω_r} согласно приведенному ниже выражению (5).

$$\begin{cases} \mathfrak{E}_1^{(12)}=\varnothing; \\ \mathfrak{E}_1^{(22)}=\varnothing; \\ (\exists i)\,((h(\Omega_i^{(l)})<h(\Omega_{i\max}))\cdot(i\in\mathfrak{E}_1)). \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} c_{\Omega_r}=c_{\Omega_\lambda}\wedge c_{\Omega_\eta}; \\ c_{\Omega_\lambda}=\begin{cases} \bigwedge\limits_{\mathfrak{E}_1^{(11)}}\tilde{x}_{\Omega_i}, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(11)}\neq\varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(11)}=\varnothing; \end{cases} \\ \overline{\overline{}} \\ c_{\Omega_\eta}=\begin{cases} \bigvee\limits_{\mathfrak{E}_1^{(21)}}(\overline{\tilde{x}_{\Omega_i}}), & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(21)}\neq\varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(21)}=\varnothing; \end{cases} \\ \Omega_r=\{\omega_{r1},\ \omega_{r2},\ \ldots,\ \omega_{rj},\ \ldots,\ \omega_{rj'}\}. \end{cases} \tag{5}$$

Для конъюнкции сигналов c_{Ω_r} образуем вспомогательный схемно не реализуемый сигнал конъюнкции c_{Ω_w}

$$\begin{cases} c_{\Omega_w}=\bigwedge\limits_{i\in\mathfrak{E}_1^{(w)}}\tilde{x}_{\varphi}; \\ \mathfrak{E}_1^{(w)}=\mathfrak{E}_1^{(11)}\cup\mathfrak{E}_1^{(21)}; \\ \varphi=\Omega_i^{(l)}; \\ \Omega_w=\{\omega_{w1},\ \omega_{w2},\ \ldots,\ \omega_{wm},\ \ldots,\ \omega_{wm'}\}. \end{cases}$$

Будем в (5) значение Ω_r обозначать через $\Omega_{r\max}$, если для всех $i \in \mathfrak{E}_1 \Omega_i = \Omega_{i\max}$. Если $h(\Omega_{r\max}) > h(\Omega_w)$, то произведем следующую процедуру в изложенном ниже порядке. (В противном случае опускаем ее).

Образуем следующие множества $\mathfrak{A}_\alpha$, $\mathfrak{A}_\beta$, $\mathfrak{A}'_\alpha$, $\mathfrak{A}'_\beta$, $\mathfrak{A}''_\alpha$, $\mathfrak{A}''_\beta$, $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{A}'$:

$$(\forall j)\,(\forall m)\,((\omega_{wm} \in \Omega_w) \cdot (\omega_{wm} = t_{wm\alpha} \dot{-} t_{wm\beta}) \cdot \\ \cdot (t_{wm\alpha} > t_{r(j-1)\alpha}) \cdot (t_{wm\alpha} \leqslant t_{rj\alpha}) \cdot (\omega_{rj} = t_{rj\alpha} \dot{-} t_{rj\beta}) \cdot \\ \cdot (t_{r(j-1)\alpha} \dot{-} t_{r(j-1)\beta} = \omega_{r(j-1)}) \cdot (\omega_{r(j-1)} \in \Omega_{r\max}) \cdot \\ \cdot (\omega_{rj} \in \Omega_{r\max}) \supset t_{rj\alpha} \in \mathfrak{A}_\alpha);$$

$$(\forall j)\,(\forall m)\,((\omega_{wm} \in \Omega_w) \cdot (\omega_{wm} = t_{wm\alpha} \dot{-} t_{wm\beta}) \cdot \\ \cdot (t_{wm\beta} > t_{r(j-1)\beta}) \cdot (t_{wm\beta} \leqslant t_{rj\beta}) \cdot (\omega_{rj} = t_{rj\alpha} \dot{-} \\ \dot{-} t_{rj\beta}) \cdot (\omega_{r(j-1)} = t_{r(j-1)\alpha} \dot{-} t_{r(j-1)\beta}) \cdot (\omega_{r(j-1)} \in \\ \in \Omega_{r\max}) \cdot (\omega_{rj} \in \Omega_{r\max}) \supset t_{rj\beta} \in \mathfrak{A}_\beta);$$

$$(\forall j)\,((\omega_{rj} \in \Omega_{r\max}) \cdot (\omega_{rj} = t_{rj\alpha} \dot{-} t_{rj\beta}) \supset t_{rj\alpha} \in \mathfrak{A}'_\alpha);$$
$$(\forall j)\,((\omega_{rj} \in \Omega_{r\max}) \cdot (\omega_{rj} = t_{rj\alpha} \dot{-} t_{rj\beta}) \supset t_{rj\beta} \in \mathfrak{A}'_\beta);$$
$$\mathfrak{A}''_\alpha = \mathfrak{A}'_\alpha \setminus \mathfrak{A}_\alpha;$$
$$\mathfrak{A}''_\beta = \mathfrak{A}'_\beta \setminus \mathfrak{A}_\beta;$$
$$\mathfrak{A} = \{t_0, t_1, t_2, \ldots, t_k, \ldots, t_{k_0}\};$$
$$\mathfrak{A}' = \mathfrak{A} \cup \mathfrak{A}'_\alpha \cup \mathfrak{A}'_\beta.$$

Обозначим элементы в упорядоченном естественным образом множестве $\mathfrak{A}'$ через t_g, где $g = 1, 2, 3, \ldots, g' = h(\mathfrak{A}')$. Дальше, образуем множества $\mathfrak{Q}_u$ $(u = 1, 2, 3, \ldots, u')$ по следующему алгоритму.

1. Взять $g = 0$ и $u = 1$.
2. Увеличить значение g на «1».
3. Взять $\mathfrak{Q}_u = \varnothing$ и перейти к п. 8.
4. Если $t_g \in \mathfrak{A}''_\alpha$ и $t_g \in \mathfrak{A}_\beta$, то $t_g \in \mathfrak{Q}_u$ и перейти к п. 10.

Если $t_g \in \mathfrak{A}''_\alpha$, а $t_g \,\overline{\in}\, \mathfrak{A}_\beta$, то перейти к п. 9. Если $t_g \in \mathfrak{A}''_\beta$ и $t_g \in \mathfrak{A}_\alpha$, то перейти к п. 5. Если $t_g \in \mathfrak{A}''_\beta$, а $t_g \,\overline{\in}\, \mathfrak{A}_\alpha$, то перейти к п. 9. В остальных случаях $t_g \in \mathfrak{Q}_u$ и перейти к п. 7.

5. Взять $\mathfrak{Q}_u = \varnothing$.
6. $t_g \in \mathfrak{Q}_u$.
7. Увеличить значение g на «1».
8. Если $g \leqslant g'$, то перейти к п. 4, в противном случае перейти к п. 11.
9. Если $\mathfrak{Q}_u$ не содержит в качестве своих элементов ни одного $t_{g-\iota} \in \mathfrak{A}_\alpha$, где $\iota = 1, 2, 3, \ldots, g-1$, то взять $\mathfrak{Q}_u = \varnothing$ и перейти к п. 7, в противном случае перейти к п. 10.
10. Увеличить значение u на «1» и перейти к п. 2.
11. Если множество $\mathfrak{Q}_u$ не содержит в качестве своих элементов ни одного $t_{g-\iota} \in \mathfrak{A}_\alpha$, где $\iota = 1, 2, 3, \ldots, g$, то взять $\mathfrak{Q}_u = \varnothing$ и $u' = u - 1$, в противном случае взять $u' = u$.
12. Конец данного алгоритма.

Упорядочим естественным образом элементы t_g в полученных множествах $\mathfrak{Q}_u$, а выделяющий сигнал $\mathfrak{f}_{\Omega_s}$ схемно реализуем следующим образом:

$$\begin{cases} f_{\Omega_s} = L(T_{\Omega_t} \wedge \overset{*}{\tau}_{\Omega_{\nu+\pi}},\ \overline{(T_{\Omega_t})} \wedge \overset{*}{\tau}_{\Omega_{\nu+\pi}}); \\ T_{\Omega_t} = L(\overset{*}{\tau}_{\Omega_v},\ \overset{*}{\tau}_{\Omega_l}); \\ \overset{*}{\tau}_{\Omega_v} = \bigvee\limits_{\mathfrak{U}_1} \overset{*}{\tau}_{q_{1u}}; \\ t_{1u} = \inf \mathfrak{Q}_u; \\ t_{g_1} = t_{1u}; \\ q_{1u} = t_{g_1 - 1}; \\ \overset{*}{\tau}_{\Omega_l} = \bigvee\limits_{\mathfrak{U}_2} \overset{*}{\tau}_{q_{2u}}; \\ t_{2u} = \sup \mathfrak{Q}_u; \\ t_{g_2} = t_{2u}; \\ q_{2u} = t_{g_2 - 1}, \end{cases}$$

где g_1 и g_2 — какие-то значения g; $\mathfrak{U}_1$ — множество всех t_{g_1-1}; $\mathfrak{U}_2$ — множество всех t_{g_2-1}; $\overset{*}{\tau}_{\Omega_{\nu+\pi}}$ — тактные сигналы второго полупериода, поступающие на второй каскад триггера.

Конъюнкцию сигналов вида (1) и (2) схемно реализуем по формуле

$$c_{\Omega_l} = f_{\Omega_s} \wedge c_{\Omega_r}.$$

Случай 2. Если выполняются условия (6), то конъюнкцию сигналов вида (1) и (2) схемно реализуем согласно (7).

$$\begin{cases} \mathfrak{E}_1^{(12)} = \varnothing; \\ \mathfrak{E}_1^{(22)} = \varnothing; \\ (\forall i)\,((i \in \mathfrak{E}_1) \cdot (h(\Omega_i^{(l)}) = h(\Omega_{i\,\max}))). \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} c_{\Omega_l} = c_{\Omega_\lambda} \wedge c_{\Omega_\eta}; \\ c_{\Omega_\lambda} = \begin{cases} \bigwedge\limits_{\mathfrak{E}_1^{(11)}} \tilde{x}_{\Omega_i}, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(11)} \neq \varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(11)} = \varnothing; \end{cases} \\ c_{\Omega_\eta} = \overline{\begin{cases} \bigvee\limits_{\mathfrak{E}_1^{(21)}} (\tilde{x}_{\Omega_i}), & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(21)} \neq \varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{E}_1^{(21)} = \varnothing. \end{cases}} \end{cases} \tag{7}$$

Замечание. Если для обычной конъюнкции сигналов вида (1) условия (4) или (6) не выполняются, то $c_{\Omega_l} = 0$. Если для конъюнкции ИВК вида (2) выполняется условие

$$(\exists i)\,((i \in \mathfrak{E}_1) \cdot (\underset{\Omega_i^{(l)}}{\Gamma} \tilde{x}_{\omega_{ij}} = \bigwedge\limits_{\Omega_i^{(l)}} \tilde{x}_{\omega_{ij}}) \cdot (h(\Omega_i^{(l)}) > 1)),$$

то $c_{\Omega_l} = 0$.

2. Предварительные процедуры образования входных сигналов для счетчиков при схемной реализации конъюнкции ИВК

Данный параграф является подготовительным к следующему. Отметим, что если для конъюнкции ИВК вида (2) выполняются только условия (3), то эта конъюнкция других решений в виде логических схем не имеет. Если же для нее выполняются приведенные ниже условия (8), то она имеет еще решения в виде логических схем с применением счетчиков.

$$\begin{cases} (\forall i)\,(\forall j)\,(((i\in\mathfrak{E}_1)\cdot(\omega_{ij}\in\Omega_i^{(l)})\cdot(\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\div t_{ij\beta})\cdot \\ \cdot(t_{ij\alpha}=t_{k_{ij\alpha}}+a_{ij\alpha})\supset(t_{ij\beta}-t_{ij\alpha}\geqslant t_{k_{ij\alpha}+1}-t_{k_{ij\alpha}}+ \\ +2\delta_{\min}))\vee((i\in\mathfrak{E}_1)\cdot(\omega_{ij}\in\Omega_i^{(l)})\cdot(\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\rightarrow)\cdot \\ \cdot(t_{ij\alpha}=t_{k_{ij\alpha}}+a_{ij\alpha})\supset(t_{k_0}-t_{ij\alpha}\geqslant t_{k_{ij\alpha}+1}-t_{k_{ij\alpha}}+2\delta_{\min}))); \\ t_{k_{ij\alpha}}\leqslant t_{ij\alpha}<t_{k_{ij\alpha}+1}, \end{cases} \tag{8}$$

где $k_{ij\alpha}$ — какое-то значение k.

Приступим к указанным предварительным процедурам. Определим множества $\mathfrak{E}_2^{(1)}$ и $\mathfrak{E}_2^{(2)}$:

$$\begin{cases} (\forall i)\,((i\in\mathfrak{E}_1^{(11)})\cdot(h(\Omega_{i\max})=1)\cdot(\Omega_i^{(l)}=\Omega_{i\max})\cdot \\ \cdot(\omega_{ij}\in\Omega_i^{(l)})\cdot((\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\div t_{ij\beta})\cdot(t_{ij\beta}\geqslant t^{(c)}_{\text{доп}})\vee \\ \vee(\omega_{ij}=t_{ij\alpha}\rightarrow)\cdot(t_{k_0}\geqslant t^{(c)}_{\text{доп}}))\supset i\in\mathfrak{E}_2^{(1)}); \\ \mathfrak{E}_2^{(2)}=\mathfrak{E}_1^{(11)}\setminus\mathfrak{E}_2^{(1)}, \end{cases}$$

где $t^{(c)}_{\text{доп}}$ — максимально допустимое время появления сигнала конъюнкции на выходе схемы, реализующей данную конъюнкцию сигналов.

Образуем максимальные по мощности множества $\mathfrak{P}_q$ из элементов $i\in(\mathfrak{E}_2^{(2)}\cup\mathfrak{E}_1^{(21)})$ так, чтобы эти множества $\mathfrak{P}_q$ $(q=1,2,3,\ldots,q')$ не пересекались и определяемая по (9) конъюнкция $c^{(q)}_{\Omega_n}$ сигналов из $\tilde{x}_{\Omega_i}$ или $\overline{(\tilde{x}_{\Omega_i})}$ не была пустой, а отрезки времени существования сигнала $c^{(q)}_{\Omega_n}$ подчинялись бы условию (10).

$$\begin{cases} c^{(q)}_{\Omega_n}=c^{(q)}_{\Omega_\lambda}\wedge c^{(q)}_{\Omega_\eta}; \\ c^{(q)}_{\Omega_\lambda}=\begin{cases}\bigwedge\limits_{\mathfrak{R}'_q}\tilde{x}_{\Omega_i}, & \text{если } \mathfrak{R}'_q\neq\varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{R}'_q=\varnothing;\end{cases} \\ \overline{c^{(q)}_{\Omega_\eta}=\begin{cases}\bigvee\limits_{\mathfrak{R}''_q}(\tilde{x}_{\Omega_i}), & \text{если } \mathfrak{R}''_q\neq\varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{R}''_q=\varnothing;\end{cases}} \\ \mathfrak{R}'_q=\mathfrak{P}_q\cap\mathfrak{E}_2^{(2)}; \\ \mathfrak{R}''_q=\mathfrak{P}_q\cap\mathfrak{E}_1^{(21)}. \end{cases} \tag{9}$$

$$\begin{cases} (\forall j)(\forall n)(\forall q)\left(\left(c^{(q)}_{\Omega_n} = f\left(\tilde{x}_{\Omega_i}, \overline{(\tilde{x}_{\Omega_i})}\right)\right) \cdot (\Omega_n = \\ = \{\omega_{n1}, \omega_{n2}, \ldots, \omega_{nj}, \ldots, \omega_{nj'}\}) \cdot (\omega_{nj} = \\ = t_{nj\alpha} \dotplus t_{nj\beta}) \cdot (t_{nj\alpha} = t_{k_{nj\alpha}} + a_{nj\alpha}) \supset \\ \supset (t_{nj\beta} - t_{nj\alpha} \geqslant t_{k_{nj\alpha}+1} - t_{k_{nj\alpha}} + 2\delta_{\min})\right); \\ t_{k_{nj\alpha}} \leqslant t_{nj\alpha} < t_{k_{nj\alpha}+1}, \end{cases} \tag{10}$$

где $f(\ldots)$ — какая-то функциональная зависимость; $k_{nj\alpha}$ — какое-то значение индекса k при дискретном времени t_k.

Далее, образуем множество $\mathfrak{E}^{(3)}_2$:

$$(\forall n)\left(\left(c^{(q)}_{\Omega_n} = f\left(\tilde{x}_{\Omega_i}, \overline{(\tilde{x}_{\Omega_i})}\right)\right) i \in (\mathfrak{E}^{(21)}_1 \cup \mathfrak{E}^{(2)}_2)\right) \supset n \in \mathfrak{E}^{(3)}_2).$$

Из каждого полученного сигнала $c^{(q)}_{\Omega_n}$ образуем следующие сигналы $c^*_{\Omega_r}$, Y_{Ω_χ} и Y_{Ω_ξ}:

$$\begin{cases} c^*_{\Omega_r} = c^{(q)}_{\Omega_n} \wedge \tau^*_{\Omega_\nu}; \\ \Omega_\nu = \{\omega_{\nu1}, \omega_{\nu2}, \ldots, \omega_{\nu\mu}, \ldots, \omega_{\nu\mu'}\}; \\ \omega_{\nu\mu} = t_{\nu\mu\alpha} = t_{k_{\nu\mu\alpha}}; \\ t_{k_{nj\alpha}} \leqslant t_{k_{\nu\mu\alpha}} \leqslant t_{k_{nj\beta}}; \\ t_{k_{nj\alpha}} \leqslant t_{nj\alpha} < t_{k_{nj\alpha}+1}; \\ t_{k_{nj\beta}} \leqslant t_{nj\beta} < t_{k_{nj\beta}+1}, \end{cases}$$

где $k_{nj\beta}$ и $k_{\nu\mu\alpha}$ — какие-то значения k; $\tau^*_{\Omega_\nu}$ — сигналы из тактных сигналов первого полупериода;

$$\begin{cases} Y_{\Omega_\chi} = L(\dot{c}_{\Omega_r}, \dot{\tau}_{t_0}); \\ Y_{\Omega_\xi} = L(Y_{\Omega_\chi} \wedge \dot{\tau}_{\Omega_{\nu+\pi}}, \overline{(Y_{\Omega_\chi})} \wedge \dot{\tau}_{\Omega_{\nu+\pi}}), \end{cases}$$

где $\tau^*_{t_0}$ — сигнал, поступающий в момент t_0.

Образуем множество $\mathfrak{E}^{(4)}_2$:

$$(\forall \xi)\left(\left(Y_{\Omega_\xi} = f_1(Y_{\Omega_\chi})\right) \cdot \left(Y_{\Omega_\chi} = f_2(\dot{c}_{\Omega_r})\right) \cdot (\dot{c}_{\Omega_r} = \\ = f_3(c^{(q)}_{\Omega_n}\, n \in \mathfrak{E}^{(3)}_2)) \supset \xi \in \mathfrak{E}^{(4)}_2\right),$$

где $f_1(\ldots)$, $f_2(\ldots)$ и $f_3(\ldots)$ — какие-то функциональные зависимости.

Для каждого $i \in \mathfrak{E}^{(22)}_1$ образуем сигнал x_{Ω_y}:

$$x_{\Omega_y} = Y\left(\overline{(\tilde{x}_{\Omega_i})}\right).$$

Образуем множество $\mathfrak{E}_2^{(5)}$:

$$(\forall y)\,(x_{\Omega_y}=f((\tilde{x}_{\Omega_i})\,i\in\mathfrak{E}_1^{(22)})\supset y\in\mathfrak{E}_2^{(5)}).$$

Обозначим элементы множеств $\mathfrak{E}_1^{(12)}$ и $\mathfrak{E}_2^{(5)}$ через z, т. е.

$$\tilde{x}_{\Omega_z}=\begin{cases}\tilde{x}_{\Omega_i}, & \text{если } i\in\mathfrak{E}_1^{(12)};\\ \tilde{x}_{\Omega_y}, & \text{если } y\in\mathfrak{E}_2^{(5)}.\end{cases}$$

Для каждого $z\in(\mathfrak{E}_1^{(12)}\cup\mathfrak{E}_2^{(5)})$ образуем сигнал $c^*_{\Omega_r}$:

$$\left\{\begin{array}{l}
c^*_{\Omega_r}=\tilde{x}_{\Omega_z}\wedge\tau^*_{\Omega_\nu};\\
\Omega_\nu=\{\omega_{\nu 1},\ \omega_{\nu 2},\ \ldots,\ \omega_{\nu\mu},\ \ldots,\ \omega_{\nu\mu'}\};\\
\omega_{\nu\mu}=t_{\nu\mu\alpha}=t_{k_{\nu\mu\alpha}};\\
t_{k_{zj\alpha}}\leqslant t_{k_{\nu\mu\alpha}}\leqslant t_{k_{zj\gamma}};\\
\Omega_z=\{\omega_{z1},\ \omega_{z2},\ \ldots,\ \omega_{zj},\ \ldots,\ \omega_{zj'}\};\\
\omega_{zj}=\begin{cases}t_{zj\alpha}\dotplus t_{zj\beta}, & \text{если } \sim A(\omega_{zj});\\ t_{zj\alpha}\rightarrow, & \text{если } A(\omega_{zj});\end{cases}\\
t_{k_{zj\alpha}}\leqslant t_{zj\alpha}<t_{k_{zj\alpha}+1};\\
t_{k_{zj\beta}}\leqslant t_{zj\beta}<t_{k_{zj\beta}+1};\\
t_{k_{zj\gamma}}=\begin{cases}t_{k_{zj\beta}}, & \text{если } \sim A(\omega_{zj});\\ t_{k_0}, & \text{если } A(\omega_{zj}),\end{cases}
\end{array}\right.$$

где $k_{\nu\mu\alpha}$, $k_{zj\alpha}$ и $k_{zj\beta}$ — какие-то значения k.

Образуем множество $\mathfrak{E}_2^{(6)}$:

$$(\forall r)\,(c^*_{\Omega_r}=f(\tilde{x}_{\Omega_z}))\supset r\in\mathfrak{E}_2^{(6)}).$$

Образуем множества $\mathfrak{E}_3^{(1)}$ и $\mathfrak{E}_3^{(2)}$:

$$\mathfrak{E}_3^{(1)}=\mathfrak{E}_2^{(6)};\qquad \mathfrak{E}_3^{(2)}=\mathfrak{E}_2^{(1)}\cup\mathfrak{E}_2^{(4)}.$$

Обозначим элементы множеств $\mathfrak{E}_3^{(1)}$ и $\mathfrak{E}_3^{(2)}$ через I, т. е.

$$I=\begin{cases}i, & \text{если } i\in\mathfrak{E}_2^{(1)};\\ \xi, & \text{если } \xi\in\mathfrak{E}_2^{(4)};\\ r, & \text{если } r\in\mathfrak{E}_2^{(6)}.\end{cases}$$

Далее, обозначим порядковые номера отрезков времени существования сигналов на выходе I-го ЭС через J, т. е. $J=1,2,3,\ \ldots\ ,J'$, а сигналы на выходе I-го ЭС через $\tilde{X}^{\Delta}_{\Omega_I}$, т. е.

$$\tilde{X}^{\Delta}_{\Omega_I} = \begin{cases} X^{*}_{\Omega_I};\ X^{*}_{\Omega_I} = c^{*}_{\Omega_r}; \\ \tilde{X}_{\Omega_I};\ \tilde{X}_{\Omega_I} = \begin{cases} \tilde{x}_{\Omega_i}, & \text{если } i \in \mathfrak{S}^{(1)}_{2}, \\ Y_{\Omega_\xi}, & \text{если } \xi \in \mathfrak{S}^{(4)}_{2}. \end{cases} \end{cases}$$

Наконец, обозначая отрезки времени символом ω с соответствующими индексами, получим

$$\Omega_I = \{\omega_{I1}, \omega_{I2}, \ldots, \omega_{IJ}, \ldots, \omega_{IJ'}\}.$$

3. Случаи схемной реализации конъюнкции ИВК с применением счетчиков

Применим для схемной реализации конъюнкции ИВК вида (2) простые счетчики с парноединичным кодированием [8] и с соседним кодированием с удвоенным количеством состояний [8], так как другие виды счетчиков по своему устройству в потенциальной элементной структуре сложнее. Для удобства этот вид счетчиков будем называть просто счетчиками, если не хотим сделать различия между ними.

3.1. Образование входных последовательностей. Приступим к образованию входных последовательностей сигналов для счетчиков указанного вида. Отметим, что сама процедура образования входных последовательностей для счетчиков в потенциальной элементной структуре проще, чем в потенциально-импульсной элементной структуре [9], так как отсутствует элемент задержки, все входные сигналы поступают в те же моменты, что и тактные сигналы, и существует только одно множество входных сигналов, т. е. существуют сигналы $X^{*}_{\Omega_I}$ для которых $I \in \mathfrak{S}^{(1)}_{3}$.

Для схемной реализации конъюнкции ИВК вида (2) применим n_1 счетчиков, каждый из которых назовем n-м счетчиком ($n = 1, 2, 3, \ldots, \ldots, n_1$). На счетный вход каждого n-го счетчика поступают сигналы $Y^{*(n)}_{\Omega_\mu}$, которые образуем по следующему алгоритму.

1. Взять $n = 1$.
2. Определить по (11) множество $\mathfrak{S}_n$.
3. Взять $w = 1$.
4. Определить по (12) множество $\mathfrak{S}^{(w-1)}_{n}$.
5. Определить по (13) множество $\mathfrak{X}^{(w-1)}_{n}$.
6. Определить по условиям (14) сигнал $X^{*}_{\Omega_\gamma}$.
7. Если существует такой сигнал $X^{*}_{\Omega_\gamma}$, выполняющий условия (14), то перейти к п. 8. В противном случае перейти к п. 10.
8. Определить по (15) множество $\mathfrak{S}^{(w)}_{n}$.
9. Увеличить значение w на «1» и перейти к п. 5.
10. Если при данном значении w по условиям (14) сигнала $X^{*}_{\Omega_\gamma}$ не существует, то взять $w_1 = w$.
11. Определить по (16) множество $\mathfrak{S}'_n$.
12. Схемно реализовать по (17) сигнал $Y^{*(n)}_{\Omega_\mu}$.
13. Увеличить значение n на «1».
14. Если $w_1 = 1$, то взять $n_1 = n - 1$ и перейти к п. 15. В противном случае перейти к п. 2.
15. Конец данного алгоритма.

В приведенном алгоритме использованы следующие выражения:

$$\mathfrak{E}_n=\begin{cases}\mathfrak{E}_n^{(w_1)}, & \text{если } n>1;\\ \mathfrak{E}_3^{(1)}, & \text{если } n=1;\end{cases}\tag{11}$$

$$\mathfrak{E}_n^{(w-1)}=\begin{cases}\mathfrak{E}_3^{(1)}, & \text{если } (n=1)\cdot(w=1);\\ \mathfrak{E}_{n-1}, & \text{если } (n>1)\cdot(w=1);\end{cases}\tag{12}$$

$$(\forall I)\,(I\in\mathfrak{E}_n^{(w-1)}\supset X^*_{\Omega_I}\in\mathfrak{X}_n^{(w-1)});\tag{13}$$

$$\begin{cases}(X^*_{\Omega_\gamma}\in\mathfrak{X}_n^{(w-1)})\cdot(\Omega_\gamma\cap\Omega_n^{(w-1)}=\varnothing)\cdot(h(\Omega_\gamma)=\max\limits_{\mathfrak{E}_n^{(w-1)}}h(\Omega_I)-K);\\ \Omega_n^{(w)}=\Omega_n^{(w-1)}\cup\Omega_\gamma;\\ w=1\supset\Omega_n^{(w-1)}=\varnothing;\\ K=0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\end{cases}\tag{14}$$

причем значение K выбирается минимально возможным;

$$\mathfrak{E}_n^{(w)}=\mathfrak{E}_n^{(w-1)}\setminus\{\gamma\};\tag{15}$$

$$\mathfrak{E}'_n=\mathfrak{E}_{n-1}\ \mathfrak{E}_n;\tag{16}$$

$$Y^{*(n)}_{\Omega_\mu}=\bigvee_{\mathfrak{E}'_n}X^*_{\Omega_\gamma}.\tag{17}$$

3.2. Схемная реализация конъюнкции ИВК. Для схемной реализации сигнала конъюнкции ИВК c_{Ω_l} образуем n_1 сигналов частных конъюнкций ИВК $c^{(n)}_{\Omega_l}$. При этом возможны следующие случаи.

Случай 3. Если при данном значении n выполняются условия (18), то сигнал частной конъюнкции ИВК $c^{(n)}_{\Omega_l}$ образуем согласно приведенному ниже выражению (19).

$$\begin{cases}\sum\limits_{\mathfrak{E}'_n}h(\Omega_I)=2m-1;\\ m=1,\ 2,\ 3,\ \ldots,\\ ((M_1+1)\Delta_{\text{РАЗ}}+2(M_1+2)\Delta^{(2)}_{\text{СОВ}})/(M_2\Delta_{\text{РАЗ}}+2M_2\Delta^{(M_2)}_{\text{СОВ}}+\Delta^{(2)}_{\text{СОВ}})\leqslant 1;\\ M_1=\sum\limits_{\mathfrak{E}'_n}h(\Omega_I)+1;\\ M_2=[\log_2\sum\limits_{\mathfrak{E}'_n}h(\Omega_I)]+1,\end{cases}\tag{18}$$

где $\Delta_{\text{РАЗ}}$ — стоимость триггера с раздельными входами; $\Delta_{\text{СОВ}}^{(M_2)}$ — стоимость схемы совпадений M_2 сигналов, из которых один сигнал импульсный, а остальные — потенциальные; $\Delta_{\text{СОВ}}^{(2)}$ — стоимость схемы совпадения двух потенциальных сигналов; [. . .] — целая часть числа, заключенного в эти скобки.

$$\left\{\begin{array}{l}
c_{\Omega_l}^{(n)} = T_{\Omega_\Theta} \wedge T_{\Omega_Q};\\[6pt]
q = 0, 1, 2, \ldots, q^{(n)};\\[6pt]
q^{(n)} = \sum\limits_{\mathfrak{E}'_n} h(\Omega_l) + 1;\\[6pt]
\Theta = Q + q^{(n)};\\[6pt]
T_{\Omega_{Q+q}} = \left\{\begin{array}{l}
L\left(T_{\Omega_{Q+q-1}} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu},\ T_{\Omega_{Q+q+1}} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu} \vee \tau^*_{t_0}\right),\\
\qquad\qquad\qquad \text{если } (1 < q) \cdot (q < q^{(n)});\\[6pt]
L\left(T_{\Omega_\Theta} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu} \vee \tau^*_{t_0},\ T_{\Omega_{Q+1}} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu}\right),\\
\qquad\qquad\qquad \text{если } q = 0;\\[6pt]
L\left(T_{\Omega_Q} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu} \vee \tau^*_{t_0},\ T_{\Omega_{Q+2}} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu}\right),\\
\qquad\qquad\qquad \text{если } q = 1;\\[6pt]
L\left(T_{\Omega_{\Theta-1}} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu},\ T_{\Omega_Q} \wedge Y^{*(n)}_{\Omega_\mu} \vee \tau^*_{t_0}\right),\\
\qquad\qquad\qquad \text{если } q = q^{(n)},
\end{array}\right.
\end{array}\right. \tag{19}$$

где Q — значение порядкового номера ЭС первого слева разряда счетчика.

Отметим, что само выражение сигнала $c_{\Omega_l}^{(n)}$ схемно не реализуется и оно входит в качестве подстановки в выражение для сигнала c_{Ω_l}, который является конечным результатом схемной реализации конъюнкции ИВК вида (2).

Случай 4. Если при данном значении n не выполняются условия (18), то сигнал частной конъюнкции ИВК $c_{\Omega_l}^{(n)}$ схемно реализуем следующим образом:

$$
\left\{
\begin{array}{l}
c_{\Omega_l}^{(n)} = \bigwedge\limits_{q=0}^{q(n)} (T_{\Omega_{Q+q}})^{\alpha_q}; \\[2ex]
(T_{\Omega_{Q+q}})^{\alpha_q} = \begin{cases} T_{\Omega_{Q+q}}, & \text{если } \alpha_q = 1; \\ \overline{(T_{\Omega_{Q+q}})}, & \text{если } \alpha_q = 0; \end{cases} \\[2ex]
\alpha_q = \begin{cases} 1, & \text{если } (\tilde{X}_q = X_q) \cdot (X_q \in K_{q^{(n)}}^{(1)}); \\ 0, & \text{если } (\tilde{X}_q = \bar{X}_q) \cdot (\bar{X}_q \in K_{q^{(n)}}^{(1)}); \end{cases} \\[2ex]
q^{(n)} = [\log_2 \sum\limits_{\mathfrak{E}'_n} h(\Omega_I)] + 1; \\[2ex]
T_{\Omega_{Q+q}} = \begin{cases} L(Y_{\Omega_\mu}^{*(n)} \wedge \bigwedge\limits_{\substack{p=0 \\ p \neq q}}^{q(n)} (T_{\Omega_{Q+p}})^{\alpha_p}, \quad Y_{\Omega_\mu}^{*(n)} \wedge \bigwedge\limits_{\substack{r=0 \\ r \neq q}}^{q(n)} (T_{\Omega_{Q+r}})^{\alpha_r} \vee \tau_{t_0}^{*}), & \\ & \text{если } q = 0; \\ L(\tau^{*}_{\Omega_{\nu+\pi}} \wedge \bigwedge\limits_{\substack{p=0 \\ p \neq q}}^{q(n)} (T_{\Omega_{Q+p}})^{\alpha_p}, \quad \tau^{*}_{\Omega_{\nu+\pi}} \wedge \bigwedge\limits_{\substack{r=0 \\ r \neq q}}^{q(n)} (T_{\Omega_{Q+r}})^{\alpha_r} \vee \tau_{t_0}^{*}), & \\ & \text{если } q > 0; \end{cases} \\[2ex]
(T_{\Omega_{Q+p}})^{\alpha_p} = \begin{cases} T_{\Omega_{Q+p}}, & \text{если } \alpha_p = 1; \\ \overline{(T_{\Omega_{Q+p}})}, & \text{если } \alpha_p = 0; \end{cases} \\[2ex]
(T_{\Omega_{Q+r}})^{\alpha_r} = \begin{cases} T_{\Omega_{Q+r}}, & \text{если } \alpha_r = 1; \\ \overline{(T_{\Omega_{Q+r}})}, & \text{если } \alpha_r = 0; \end{cases} \\[2ex]
\alpha_p = \begin{cases} 1, & \text{если } (\tilde{X}_p = X_p) \cdot (X_p \in K_p^{(1)}); \\ 0, & \text{если } (\tilde{X}_p = \bar{X}_p) \cdot (\bar{X}_p \in K_p^{(1)}); \end{cases} \\[2ex]
\alpha_r = \begin{cases} 1, & \text{если } (\tilde{X}_r = X_r) \cdot (X_r \in K_r^{(0)}); \\ 0, & \text{если } (\tilde{X}_r = \bar{X}_r) \cdot (\bar{X}_r \in K_r^{(0)}); \end{cases} \\[2ex]
X = \begin{cases} 1; \\ 0. \end{cases}
\end{array}
\right. \tag{20}
$$

Здесь Q — значение порядкового номера ЭС самого младшего разряда счетчика; $K_{q^{(n)}}^{(1)}$ и $K_p^{(1)}$ — конституенты единицы соответственно без $q^{(n)}$- и p-го разрядов в соседнем коде, переводящие триггер в $q^{(n)}$- и p-м разрядах из состояния «0» в «1»; $K_p^{(0)}$ — конституенты единицы без r-го разряда в соседнем коде, переводящие триггер в r-м разряде из состояния «1» в «0».

Сам сигнал конъюнкции ИВК c_{Ω_l} схемно реализуем следующим образом:

$$
\begin{cases}
c_{\Omega_l} = c_{\Omega_\lambda} \wedge c_{\Omega_\eta}; \\
c_{\Omega_\lambda} = \begin{cases} \bigwedge\limits_{n=1}^{n_1} c_{\Omega_l}^{(n)}, & \text{если } \mathfrak{S}_3^{(1)} \neq \varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{S}_3^{(1)} = \varnothing; \end{cases} \\
c_{\Omega_\eta} = \begin{cases} \bigwedge\limits_{\mathfrak{S}_3^{(2)}} \tilde{X}_{\Omega_l}, & \text{если } \mathfrak{S}_3^{(2)} \neq \varnothing; \\ 1, & \text{если } \mathfrak{S}_3^{(2)} = \varnothing. \end{cases}
\end{cases}
$$

Применение изложенной выше методики дает самый экономичный вид логических схем, реализующих конъюнкцию ИВК вида (2) при выполнении условий (8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович З. Л., Тр. Междунар. симп. по теории релейн. устройств и конечн. 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., **20**, 468 (1971).
8. Рабинович З. Л., Элементарные операции в вычислительных машинах, Киев, 1966.
9. Сиймон А., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **19**, 172 (1970).

Институт кибернетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
23/X 1972

A. SIIMON

SIGNAALIDE KONJUNKTSIOON POTENTSIAALSES ELEMENTIDE SÜSTEEMIS

Vaadeldakse signaalide konjunktsioonide (1) ja (2) skeemilist realiseerumist minimaalsete loogiliste skeemidega potentsiaalses elementide süsteemis, kui on täidetud tingimused (3) või (8).

A. SIIMON

CONJUNCTION OF SIGNALS IN THE POTENTIAL ELEMENT SYSTEM

The author discusses the minimal realization of the conjunction of signals (1) and (2) under the conditions (3) or (8) in the potential element system by minimal logical schemes.