

УДК 519.95

UDC 519.95

**АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ  
ДВУДОЛЬНЫХ МУЛЬТИГРАФОВ  
(Т-СЕТЕЙ)****HARDWARE IMPLEMENTATION OF  
AN UNDIRECTED BIPARTITE  
MULTIGRAPH (T-NETWORKS)***В. С. Чуб., Д. В. Фатхи**V. S. Chub, D. V. Fatkhi*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону,

Российская Федерация

[vadim-chub13@mail.ru](mailto:vadim-chub13@mail.ru)

[fatkhi@mail.ru](mailto:fatkhi@mail.ru)

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[vadim-chub13@mail.ru](mailto:vadim-chub13@mail.ru)

[fatkhi@mail.ru](mailto:fatkhi@mail.ru)

Работа посвящена аппаратной реализации Т-сетей, позволяющих моделировать параллельные асинхронные процессы, обладающие свойством изменять направление развития. Для исследования таких процессов на адекватность целесообразно иметь безошибочно функционирующую модель, что с высокой достоверностью может быть проверено на комплексе аппаратных реализаций модели. В работе представлена возможность аппаратной реализации Т-сетей.

The paper is devoted to hardware implementation of T-networks for modeling parallel asynchronous processes that have the property to change the direction of development. To study the models of such processes on the adequacy it would be useful to have an accurately functioning model that can be checked with high accuracy on the hardware implementations of complex models. The paper presents possible hardware implementation of T-networks.

**Ключевые слова:** аппаратная реализация, Т-сеть, мультиграф, функциональная схема Т-сети, параллельные процессы.

**Keywords:** hardware implementation, T-network, functioning model, multigraf, parallel processes.

**Введение.** В моделировании современных систем, обладающих распределенностью и асинхронным параллельным функционированием, находят широкое применение ориентированные двудольные мультиграфы — сети Петри [1, 2]. Они постоянно совершенствуются для повышения адекватности разрабатываемых моделей [3]. Однако жесткая ориентированность дуг сетей Петри создает ограничения на срабатывание переходов — исключает изменение направления их срабатывания, что приводит к невозможности моделирования реверсивных процессов, связанных с получением маркировок предусловий событий по маркировкам постусловий.

В [4] предложен неориентированный двудольный мультиграф — Т-сеть, неориентированный аналог сети Петри, который позволяет расширить функциональные возможности моделей, обеспечив двунаправленность срабатывания переходов, и этим повысить адекватность модели широкому классу объектов, обладающих реверсивным поведением. Значительный интерес для оценки адекватности Т-сетей моделируемым процессам представляет возможность их аппаратной реализации с целью последующей проверки реализуемых функций.

Исследования, посвященные развитию и расширению возможностей инструментов моделирования современных систем, являются актуальной научной задачей [5].

**Формальное задание сети Т.** Сеть Т задается четырьмя параметрами:

$$C = (P, T, F, \mu_0).$$

Здесь  $P$  — конечное множество позиций;  $T$  — конечное множество переходов;  $F$  — функция, ставящая в соответствие переходам слева и справа некоторые количества позиций.

$$F = F_L \cup F_R.$$

Здесь  $F_L$  — функция, задающая некоторое количество позиций слева относительно перехода;  $F_R$  — функция, задающая некоторое количество позиций справа от перехода. Выбор левой и правой стороны переходов произволен.

$$\mu_0: P \rightarrow N \cup \{\emptyset\}.$$

Здесь  $N$  — множество целых чисел больших 0, начальная маркировка сети  $T$ ;  $\mu_0 \in \mu$ , где  $\mu$  — множество возможных маркировок сети.

Функционирование  $T$ -сети осуществляется срабатыванием переходов в разрешенных направлениях.

Разрешение на запуск перехода сети  $T$   $t_j \in T$  имеется, если для всех  $p_i \in P$  выполнено условие  $\mu(p_i) \geq \#(p_i, F_{L(R)}(t_j))$ . Здесь  $\#(p_i, F_{L(R)}(t_j))$  — кратность позиции  $p_i$  относительно перехода  $t_j$  слева (справа), т. е. число появлений позиции в комплекте перехода слева (справа). Комплектом называется обобщенное множество, в которое включены многократно повторяющиеся элементы.

Запуск перехода сети  $T$  осуществляется удалением всех разрешающих меток из позиций слева (справа) относительно перехода и последующим помещением в каждую из позиций справа (слева) от перехода по одной метке для каждого ребра. Кратные метки передаются через кратные ребра.

Переход  $t_j$  в маркированной сети  $T$  с маркировкой  $\mu$  может быть запущен всякий раз, когда он разрешен. В результате запуска разрешенного перехода  $t_j$  образуется новая маркировка  $\mu'$ , определяемая соотношением:

$$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, F_{L(R)}(t_j)) + \#(p_i, F_{R(L)}(t_j)).$$

Выполнение маркировки сети  $T$  осуществляется произвольной последовательностью запусков переходов, причем в любом разрешенном направлении относительно переходов.

Особенности сети  $T$ , связанные с неориентированностью ребер между позициями и переходами, дают возможность запускать переходы в любом разрешенном направлении, что запрещено в сетях Петри.

**Аппаратная реализация  $T$ -сетей.** Рассмотрим два фрагмента  $T$ -сетей (рис. 1 и 3) и реализующие их функциональные схемы (рис. 2 и 4).

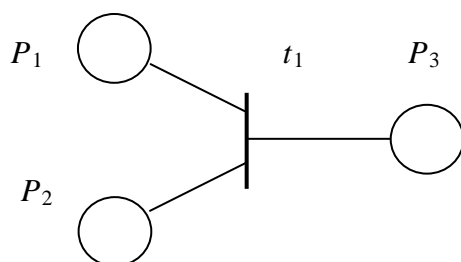


Рис. 1. Сеть  $T$  (пример 1)

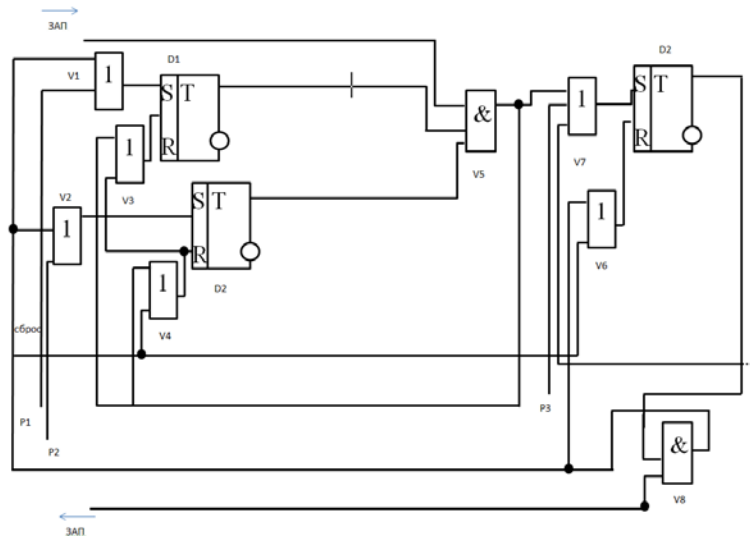


Рис. 2 . Функциональная схема аппаратной реализации (примера 1)

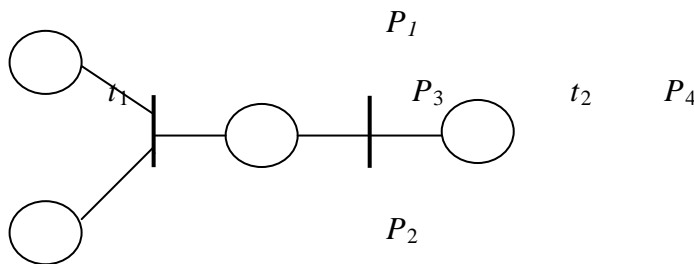


Рис. 3. Т-сеть (пример 2)

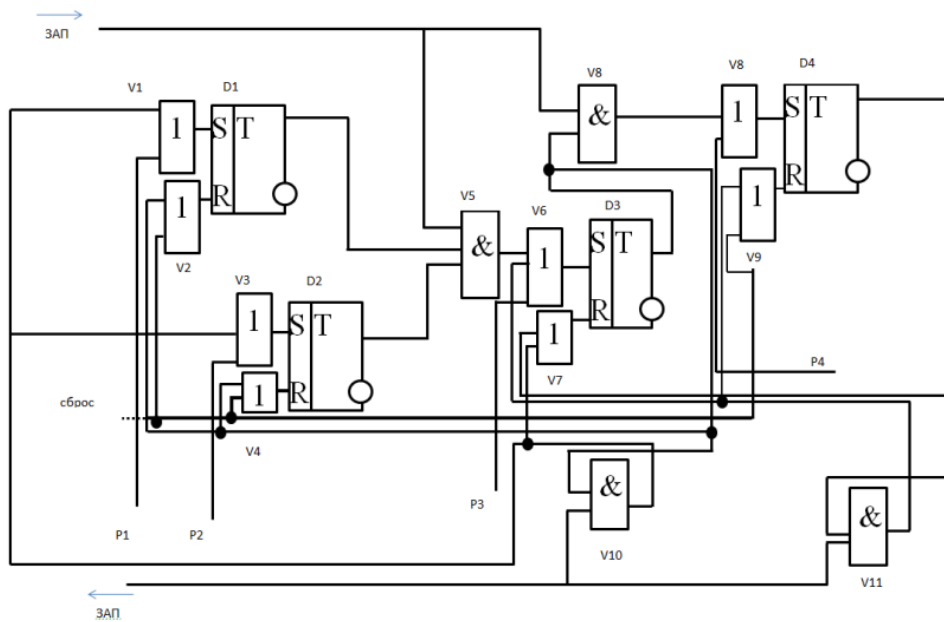


Рис. 4. Функциональная схема аппаратной реализации сети Т (примера 2)

**Заключение.** При построении функциональных схем, реализующих поведение сетей Т, учтено срабатывание переходов в любом разрешенном направлении, поскольку связи между пере-

ходами и позициями не имеют ориентации. Процессы изменения маркировок сетей Т могут быть выполнены в обратном направлении и в пределе привести к начальной маркировке. Реверс процесса порождения маркировок позволяет получить ранее сформированные маркировки для возможного изменения процесса с целью коррекции.

#### **Библиографический список**

1. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. — Москва : Мир, 1984. — 264 с.
2. Котов, В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. — Москва : Наука, 1984. — 160 с.
3. Фатхи, Д. В. Повышение мощности разрешения моделей информационной безопасности на основе модификации ингибиторных сетей Петри / Д. В. Фатхи, В. А. Фатхи, Д. В. Фатхи // Информационная безопасность регионов. — 2010. — № 2 (7). — С. 68–70.
4. Фатхи, Д. В. Неориентированные двудольные мультиграфы как инструмент, расширяющий моделирующие возможности сетей Петри / Д. В. Фатхи, В. А. Фатхи, Д. В. Фатхи // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2015. — № 4. — С. 3–8.
5. Fatkhi, D. V. Modeling of Multiprocessor System on the Basis of Clored Stochastic / D. V. Fatkhi, D. V. Medyantsev // Time-Based Petri Nets with Aktive Transitions // Engineering Simulation. — 1995. — Vol. 13. — P. 17–27.