

УДК 681.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА КМУУ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ МИКРОКОМАНД

Зеленёва И. Я., Дорожко Л. И., Лаврик А.С

Донецкий национальный технический университет, м. Донецк  
кафедра электронных обчислювальних машин

E-mail: irina@cs.dgtu.donetsk.ua

### *Abstract*

*The method of synthesis of CMCU with modified microcommand is proposed. The method is based on analysis of characteristics and configuration of flow-charts. The clue of method is to insert the code-converting unit in base architecture of CMCU for decreasing the hardware amount of programmable logic devices in the circuit of control unit.*

### *Введение*

Широкое внедрение электроники и автоматики во все сферы деятельности человеческого общества выдвигает всё более жёсткие требования к изделиям электронной техники. Достижения в области микроэлектроники способствовали созданию широкого спектра программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). В настоящее время для реализации цифровых систем в качестве аппаратного базиса используются ПЛИС с различной архитектурой: программируемые логические матрицы (ПЛМ), постоянные запоминающие устройства (ПЗУ), а также более сложные структуры ПЛИС, обозначаемые англоязычными аббревиатурами FPGA и CPLD [4]. Использование такого базиса позволяет повысить надежность, быстродействие, степень интеграции проектируемых систем, а также существенно снизить время проектирования и конструирования, потребление мощности и габариты устройств [4]. Однако постоянное совершенствование элементной базы обусловило дальнейшую необходимость разработки новых методов проектирования цифровых систем.

Современные цифровые системы строятся на основе принципа микропрограммного управления, который предполагает наличие управляющего устройства (УУ), координирующего работу всех блоков системы [1]. При этом одной из важных проблем является необходимость оптимизации аппаратных затрат в логической схеме УУ. Один из возможных путей решения этой проблемы заключается в модификации структуры УУ с целью максимального соответствия этой структуры характеристикам реализуемого алгоритма и параметрам элементного базиса.

Основными классами УУ являются автоматы с «жёсткой» логикой, представляющие собой последовательностную схему, синтезируемую по описанию, заданному абстрактным автоматом, а также автоматы с «программируемой» логикой, основанные на операционно-адресном представлении информации, хранимой в специальной управляющей памяти [1]. Этим классам присущ ряд проблем, которые успешно решаются путём представления УУ в виде композиции автоматов с «жёсткой» и «программируемой» логикой. Такие автоматы получили название композиционных микропрограммных устройств управления (КМУУ) [2]. Данный подход способствует снижению аппаратных затрат в схеме и увеличению быстродействия цифровой системы в целом. Но в таком случае схема устройства становится специализированной, что ограничивает возможность эффективного использования микропрограммирования на уровне пользователя.

Целью данных исследований является определение такой модификации гибкой структуры КМУУ, которая в сочетании с использованием современного элементного базиса позволила бы разрешить указанные проблемы с максимальной эффективностью.

**Основные определения**

Пусть алгоритм управления цифровой системы задан в виде граф-схемы алгоритма (ГСА)  $\Gamma$  [3], операторные вершины которой образуют множество  $B = \{b_1, \dots, b_k\}$ . В вершине  $b_k \in B$  записан набор одновременно выполняемых микроопераций (микрокоманда)  $Y(b_k) \subseteq Y$ , где  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ . В условных вершинах ГСА  $\Gamma$  записываются элементы множества логических условий  $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ . Кроме операторных и условных вершин ГСА  $\Gamma$  содержит начальную  $b_0$  и конечную -  $b_k$ , вершины. Пусть  $E$  – множество дуг ГСА  $\Gamma$ .

Введём ряд определений [2], необходимых для дальнейшего изложения метода.

*Определение 1.* Операторной линейной цепью (ОЛЦ) в ГСА  $\Gamma$  называется конечная последовательность операторных вершин  $\alpha_g = \langle b_{g1}, \dots, b_{gF_g} \rangle$ , такая, что для любой пары соседних компонент кортежа  $a_g$  существует дуга  $\langle b_{gi}, b_{gi+1} \rangle \in E$ , где  $i$  – номер компоненты кортежа  $\alpha_g$  ( $i = 1, \dots, F_g - 1$ ),  $G$  – число ОЛЦ в ГСА  $\Gamma$ .

*Определение 2.* Входом ОЛЦ  $\alpha_g - I_g$ , называется вершина  $b_q \in B$ , такая, что существует дуга  $\langle b_t, b_q \rangle \in E$ , где  $b_t$  – условная или начальная вершина ГСА  $\Gamma$ , либо операторная вершина не входящая в состав ОЛЦ  $\alpha_g$ .

*Определение 3.* Выходом ОЛЦ  $\alpha_g - O_g$  называется вершина  $b_q \in B$ , такая, что существует дуга  $\langle b_t, b_q \rangle \in E$ , где  $b_t$  – условная или конечная вершина ГСА  $\Gamma$ , либо операторная вершина не входящая в состав ОЛЦ  $\alpha_g$ .

Обозначим через  $D_g \subseteq B$  множество операторных вершин, входящих в состав ОЛЦ  $a_g \in C$ , где  $C = \{a_1, \dots, a_g\}$ .

Пусть для каждой ОЛЦ  $a_g \in C$  выполнена естественная адресация микрокоманд

$$A(b_{gi+1}) = A(b_{gi}) + 1 \quad (i = \overline{1, F_g - 1}) \tag{1}$$

где  $A(b_q)$  – адрес микрокоманды, соответствующей вершине  $b_q \in B$ .

В таком случае ГСА  $\Gamma$  может быть реализована посредством КМУУ (рис. 1), обозначаемым в дальнейшем  $U_1$ .

В структуре КМУУ (рис. 1) схема формирования адреса (СФА) и регистр, входящий в состав счётчика, образуют автомат адресации микрокоманд  $S_1$ , формирующий адреса переходов при нарушении естественного порядка выполнения микрокоманд и имеет  $H$  строк таблицы переходов; управляющая память (УП), счётчик (СЧАМК) и триггер  $T$  образуют микропрограммное устройство управления  $S_2$ , формирующее адреса переходов при естественном порядке выполнения микрокоманд, что соответствует условию (1).

Счётчик СЧАМК хранит адреса  $A(b_k)$  микрокоманд, представляемых переменными  $T_z \in T = \{T_1, \dots, T_Z\}$ , где  $Z = \lceil \log_2(|D|) \rceil$ . Микрокоманды  $Y(b_m)$  хранятся в УП. Один из дополнительных разрядов используется для хранения сигнала  $y_0$ , по которому осуществляется режим адресации, второй – для хранения сигнала  $y_k$ , по которому происходит завершение функционирования устройства.

Пусть  $R$  – количество разрядов, необходимое для кодирования числа входов ОЛЦ, тогда  $R = \lceil \log_2(G) \rceil$ .

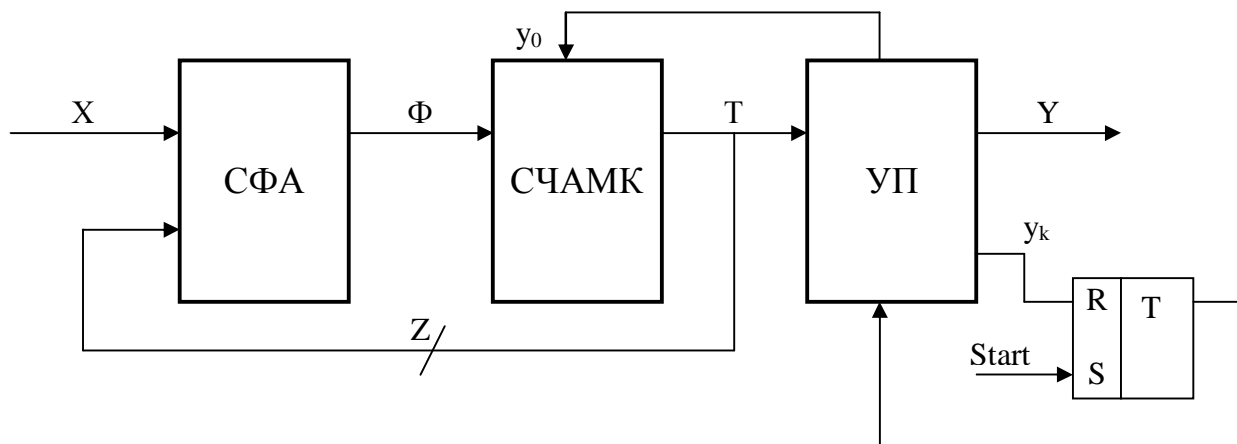


Рис. 1 – Структурная схема КМУУ  $U_1$

**Основная идея метода синтеза КМУУ с модифицированной системой микрокоманд**

Как показали исследования ГСА реальных цифровых устройств, ОЛЦ  $a_g \in C$  в общем случае содержит более одной компоненты. Из этого следует, что общее число входов во многих случаях меньше числа  $|D|$  операторных вершин. В случае, когда выполняется неравенство

$$Z > R, \tag{2}$$

для адресации входов ОЛЦ требуется код меньшей разрядности, чем разрядность кода, используемого для адресации микрокоманд.

Назначим каждому входу ОЛЦ  $a_g \in C$  уникальный номер  $N(I_g) \in (0, 1, \dots, G)$  входа ОЛЦ  $a_g$ , а для адресации входов ОЛЦ будем использовать адрес  $A(I_g)$ , соответствующий ячейке УП, содержащей вход  $I_g$ .

В случае, когда условие (2) выполняется, целесообразно, чтобы схема формирования адреса вырабатывала не адреса входов, а их номера. При этом экономия числа выходов СФА предложенной структуры, по сравнению с  $U_1$  составит  $Z-R$ . Обозначим такую структуру  $U_2$ .

Для решения этой задачи в структуру КМУУ вводится преобразователь кода (ПК) (рис. 2), реализующий преобразование типа «номер входа – адрес входа». При этом СФА вырабатывает номер  $N(I_g)$  входа  $I_g$ , а ПК преобразует заданный номер в соответствующий адрес для входа  $A(I_g)$ . В качестве элементного базиса для реализации ПК при выполнении условия (2) логично использовать ПЗУ.

Полученная структура (рис.2) представляет собой композиционное микропрограммное устройство управления с модифицированной системой микрокоманд.

**Исследование предложенного метода**

Для проведения исследований метода синтеза КМУУ с модифицированной системой микрокоманд разработана специальная САПР, в основу которой положены два независимых модуля – графический редактор (ГР) граф-схем алгоритмов, а так же генератор аппаратного описания автомата на языке VHDL на основе собранной схемы (рис. 3).

Графическое представление ГСА строится из таких элементов как эллипс, ромб и прямоугольник, соединяемых стрелками, представляющими связи.

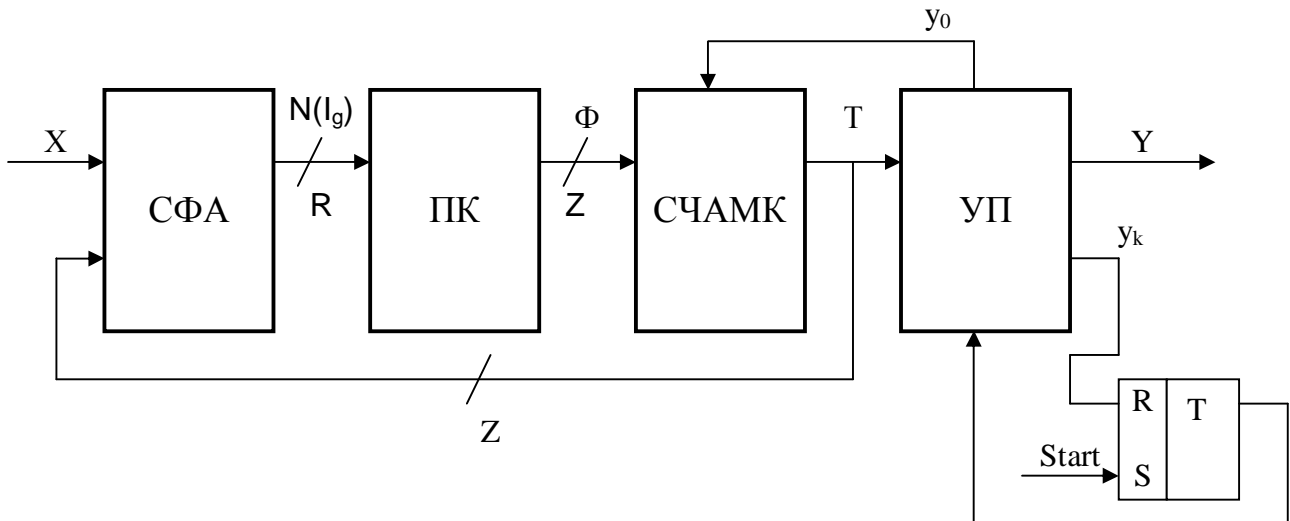


Рис. 2 – Структурная схема КМУУ  $U_2$

Кроме того, одним из дополнительных модулей разработанной САПР является генератор алгоритмов, который позволяет оперировать определённым набором заданных величин, таких как число операторных вершин, число условных вершин, общее число вершин и степень разветвлённости графа (доля операторных в общем количестве вершин), и на основе этих данных создавать ГСА с необходимыми параметрами. Генератор алгоритмов полезен для проведения исследований, так как позволяет оценить эффективность применения предложенного метода на различных типах ГСА.

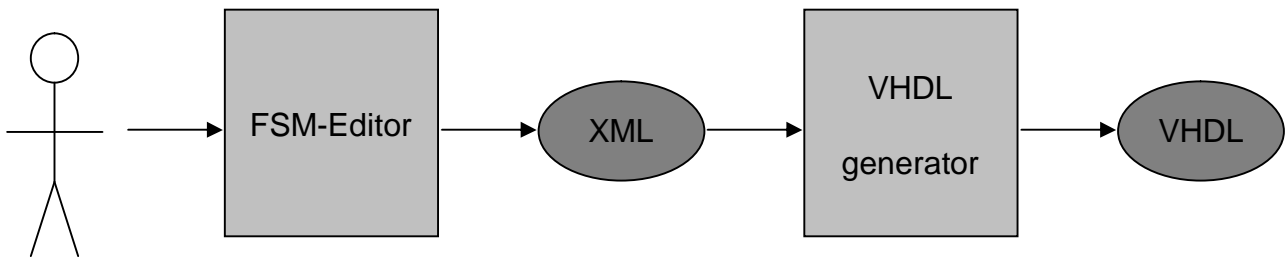


Рисунок 3. – Структурная схема предложенной САПР.

Оценка аппаратных затрат в схеме устройства управления производилась путём подсчёта площади кристалла матричным методом. Для этого использовались следующие формулы:

$$S(U_1) = S_{CFA}^{Bx} + S_{CFA}^{Bых} + 0,1 * S_{УП} \tag{4}$$

$$S(U_2) = S_{CFA}^{Bx} + S_{CFA}^{Bых} + 0,1 * S_{ПК} + 0,1 * S_{УП} \tag{5}$$

Так как СФА реализуется с использованием ПЛИМ, то состоит из двух частей – матрицы входов и матрицы выходов, площади которых в (4) и (5) обозначены как  $S_{CFA}^{Bx}$  и  $S_{CFA}^{Bых}$ .

Применяя к (4) и (5) введенные обозначения:

$$S(U_1) = 2 * H * (L + Z) + H * Z + 0,1 * 2^Z * (N + 2) \tag{6}$$

$$S(U_2) = 2 * H * (L + Z) + H * R + 0,1 * 2^R * Z + 0,1 * 2^Z * (N + 2) \tag{7}$$

Из (6) и (7) видно, что разница в площадях  $U_1$  и  $U_2$  составляет:

$$S(U_1) - S(U_2) = H(Z - R) - 0.1 * 2^R * Z \tag{8}$$

Проведенные исследования показали, что при увеличении числа операторных вершин в исходной ГСА Г эффективность применения структуры  $U_2$  увеличивается (рис. 4).

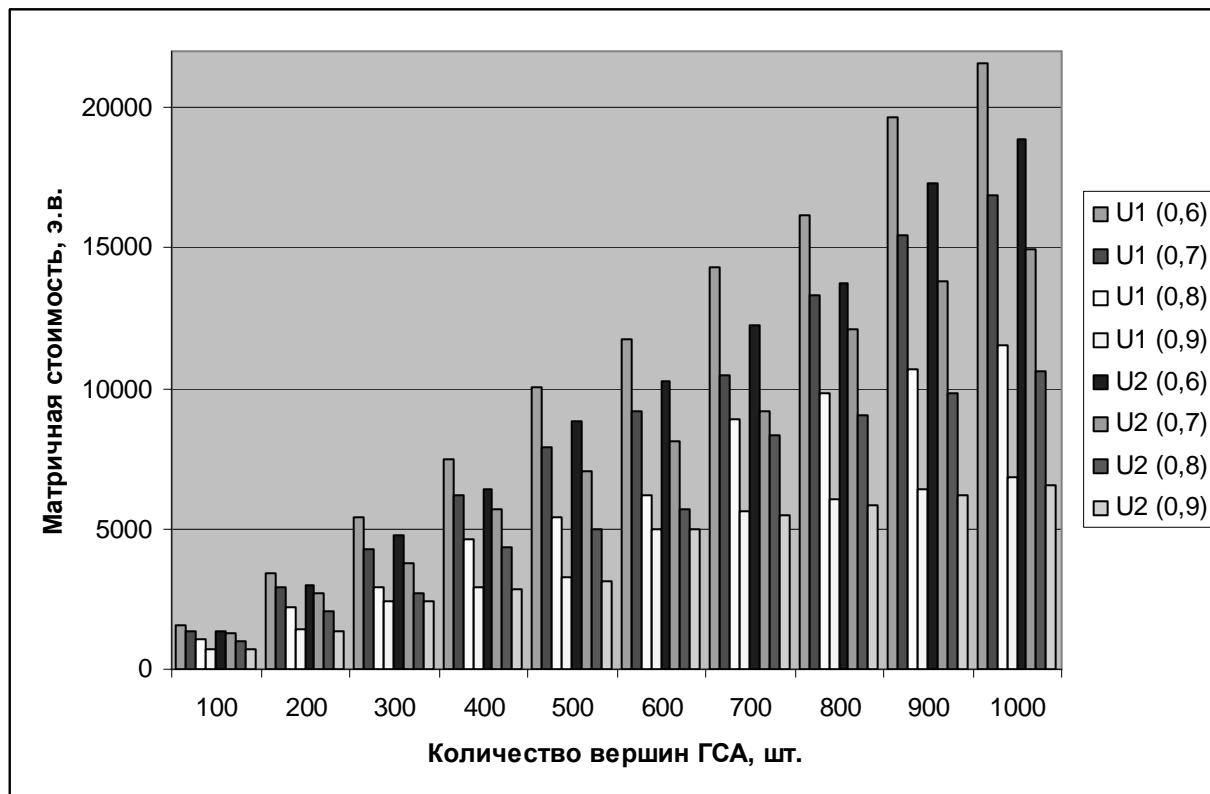


Рисунок 4. – Сравнительная характеристика аппаратурных затрат в КМУУ с базовой структурой ( $U_1$ ) и модифицированной системой микрокоманд ( $U_2$ )

**Заклучение**

В результате проведенных исследований определено, что наибольший эффект от применения структуры  $U_2$  в сравнении со структурой  $U_1$  достигается при разветвлённости ГСА, составляющей 60%, а наименьший – при 90%. На всём исследованном промежутке (рис 4.) очевидно преимущество предложенной структуры в сравнении с базовой, что поясняется уменьшением на величину разности  $Z-R$  числа входов матрицы СФА.

Дальнейшие направления исследований заключаются в определении эффективности реализации КМУУ с модифицированной системой микрокоманд в базисе стандартных ПЛИС.

**Литература**

1. Баркалов О.О. Синтез операцийних пристроїв. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2003. – 305 с.
2. Баркалов А.А., Палагин А.В. Синтез микропрограммных устройств управления. – Киев: ИК НАН Украины, 1997. – 156с.
3. Varanov S. Logic Synthesis of Control Automata– Kluwer Academic Publishers, 1994 – 312 pp.
4. Соловьёв В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 636 с. ил.