

**Концепция регенеративных электронных систем космического применения:
основные проблемы и некоторые пути их решения**

Л.В. Савкин

ПАО «Радиофизика»

android4.1@mail.ru

В предыдущей работе [4] были предложены и подробно рассмотрены два подхода к построению *регенеративных электронных систем* (РегЭС) космического применения, способных осуществлять восстановление отказавших (или деградировавших в процессе эксплуатации) дискретных элементов на низком аппаратном уровне.

Первый подход базируется на использовании свойств многоуровневой аппаратной реконфигурации, возможность практической реализации которой предоставляют нам реконфигурируемые вычислительные системы (РВС), построенные на современных программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) класса FPGA [3].

Второй подход носит более общий характер и относится к интегрированному построению отказоустойчивой (толерантной) цифровой аппаратуры космических аппаратов на базе однородных вычислительных систем (ОВС) [1, 2]. С целью достижения эффекта восстановления отказавших дискретных элементов на низком аппаратном уровне в рамках предложенной концепции РегЭС, данный подход предусматривает реализацию ОВС также на базе ПЛИС класса FPGA. В данном случае суть данного подхода близка к идее мультимикроконвейерных схем, относящихся к одному из распространенных типов РВС и подробно описанных в [3].

В докладе рассматриваются ключевые аппаратные архитектуры, основанные на идеях аппаратно-программного построения однородных, систолических, реконфигурируемых и других типов кластерных вычислительных систем, удовлетворяющих концепции РегЭС для построения отказоустойчивых модулей цифровой обработки данных космических систем и комплексов.

На рис. 1 представлена вычислительная ячейка (ФК-ячейка), предназначенная для реализации идеи синтеза функциональных и контролирующих сред.

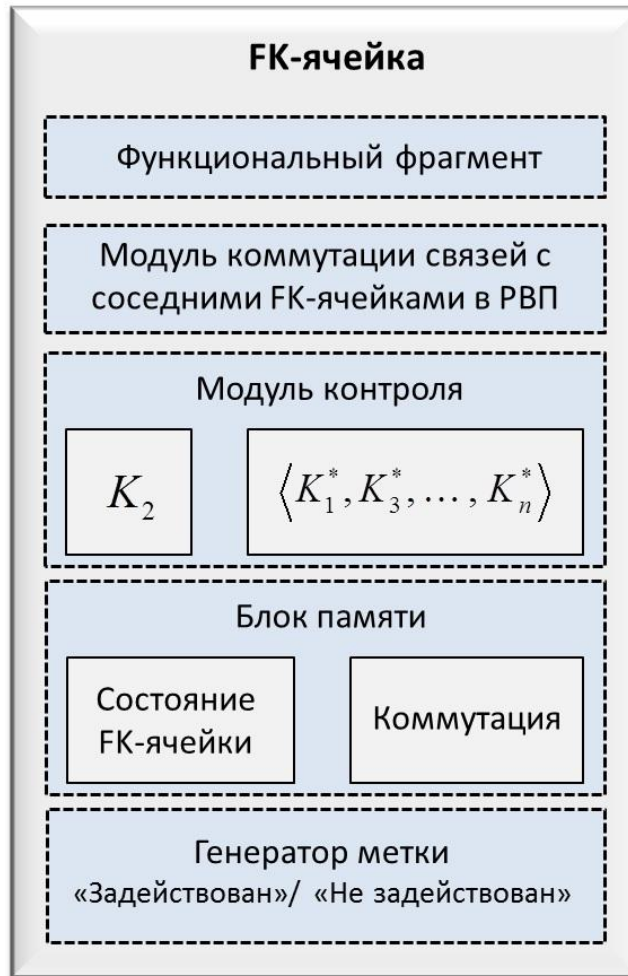


Рис. 1. Устройство FK-ячейки РегЭС

Каждая FK-ячейка реализуется на базе выделенного матричного набора КЛБ ПЛИС независимо от числа ПЛИС, реализующих, в свою очередь, единое РВП. Полную структуру FK-ячейки образуют следующие фрагменты и модули:

- 1) *функциональный фрагмент*, предназначенный для аппаратной реализации основных алгоритмов цифровой обработки информации;
- 2) *модуль коммутации*, предназначенный для коммутации связей с соседними FK-ячейками в РВП и реализующийся либо по многоканальной мультиплексной схеме, либо с помощью встроенных (внутренних) глобальных коммутаторов ПЛИС;
- 3) *модуль контроля*, включающий в себя блок самоконтроля (контроль функций $K_i, i = \overline{1, n}$) и блок контроля соседних FK-ячеек (контроль набора функций $\langle K_1^*, K_3^*, \dots, K_n^* \rangle$).

- 4) *блок памяти*, осуществляющий хранение информации об исправных и неисправных состояниях ФК-ячейки и информации о предыдущих коммутациях данной ячейки с соседними ФК-ячейками;
- 5) *генератор метки*, предназначенный для генерации функции задеирования (или не задеирования) ФК-ячейки в вычислительной операции для h -й аппаратной архитектуры (конфигурации) функциональной среды, построенной на базе ФК-ячеек.

Особое внимание в работе уделено выбору доступной номенклатуры ПЛИС преимущественно класса FPGA, способных реализовать вышеописанные аппаратные архитектуры функциональных сред на базе ФК-ячеек.

Особое внимание в работе было уделено разработке и исследованию эффективных способов организации контроля функциональных элементов единого реконфигурируемого вычислительного поля (РВП) с возможностью изолирования вышедших из строя коммутируемых логических блоков (КЛБ) ПЛИС и их мажоритарного резервирования на низком аппаратном уровне (уровне КЛБ).

Представлены результаты анализа доступной номенклатуры ПЛИС класса FPGA (в том числе радиационностойких), удовлетворяющих возможностям практической реализации базовых архитектур РегЭС в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космического применения.

Литература

1. *Евреинов Э.В., Хорошевский В.Г.* Однородные вычислительные системы. Новосибирск: Наука, 1978. - 319 с.
2. *Каляев А.В.* Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. М.: Радио и связь, 1984. - 240 с.
3. *Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И.* Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / Под общ. ред. И.А. Каляева. 2-е изд., перераб., доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. - 344 с.
4. *Савкин Л.В.* Регенеративные электронные системы в космических системах и комплексах. Вестник кибернетики, №2 (18), 2015, с. 3-32.