

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Н. А. Коротаев, В. И. Попечиц

Институт прикладных физических проблем

им. А. Н. Севченко БГУ, Минск

E-mail: papchyt@bsu.by

Необходимость обеспечения отказоустойчивости электронных устройств различного назначения, построенных на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) [1], обусловлена высокими функциональными требованиями к их быстродействию, точности, надежности и безотказности [2]. Одним из перспективных путей повышения отказоустойчивости электронных устройств на ПЛИС является использование при их построении встроенных средств самовосстановления [3]. В данной работе предлагается использовать при построении отказоустойчивых программируемых электронных устройств программные или аппаратурно-программные средства самовосстановления.

Программные средства самовосстановления, представляя собой программную избыточность, увеличивают стоимость устройств, т.к. требуют дополнительных аппаратурных средств. Однако этот недостаток компенсируется тем, что рассматриваемые средства самовосстановления существенно улучшают показатели функционирования и надежности. Аппаратурно-программные средства самовосстановления представляют собой сочетание аппаратурных и программных средств, которые применяются на различных иерархических уровнях системы и обеспечивают исправление широкого класса неисправностей и оперативное восстановление работоспособности электронного устройства.

Самовосстанавливаемые электронные устройства должны обладать следующими свойствами: обнаружение неисправности в момент времени ее первого проявления (данное свойство реализуется с помощью самопроверяемых схем встроенного контроля); локализация неисправности с заданной глубиной (свойство реализуется путем применения встроенных средств самотестирования); перестройка-реконфигурация структуры устройства (реализуется с помощью программных средств); восстановление нормального функционирования устройства (реализуется соответствующими встроенными аппаратурно-программными средствами) [3]. На основе данных свойств предлагается структурная модель отказоустойчивого электронного устройства на ПЛИС с программными и аппаратурно-программными средствами самовосстановления, которая содержит: средства управления процессом самовосстановления; средства самодиагностирования, включающие генератор тестовой последовательно-

сти и (или) контролирующие и локализирующие тесты, записанные в ПЗУ; объект самовосстановления, включающий работоспособные, запасные и отказавшие ПЛИС с самопроверяемыми схемами встроенного контроля; средства реконфигурации.

Работоспособные ПЛИС, выполняющие все рабочие функции, составляют исходную структуру (вычислительное ядро) устройства. Возникшая неисправность либо маскируется избыточной информацией (в случае сбоя), либо обнаруживается и локализуется средствами самодиагностирования (в случае отказа). Неисправные ПЛИС средствами реконфигурации исключаются из исходной структуры и заменяются запасными ПЛИС. Средства самовосстановления восстанавливают правильное функционирование электронных устройств. При этом в случае восстановления отказавшей ПЛИС, она пополняет число запасных ПЛИС. Если резерв исчерпан, выполняется реконфигурация исходной структуры устройства. В этом случае наблюдается деградация системы, т.е. понижение ее вычислительных способностей. Однако деградация почти не будет наблюдаться, если учесть то, что в настоящее время число элементарных схем (транзисторов) в одном корпусе интегральной схемы выросло до сотен миллионов и это позволяет создавать достаточный запас для обеспечения высокой отказоустойчивости электронного устройства.

Предложенная модель позволяет вычислить значения выхода годных устройств на ПЛИС с аппаратурно-программными средствами самовосстановления в зависимости от среднего числа дефектов, коэффициента группирования дефектов и числа резервных элементов.

На основе анализа вычисленных значений надежностных характеристик аппаратурных, программных и аппаратурно-программных средств самовосстановления можно сделать вывод о том, что лучшими в обеспечении отказоустойчивости электронных устройств на ПЛИС являются аппаратурно-программные средства самовосстановления.

1. *Соловьев В. В.* Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 636 с.
2. *Виноградов В. И.* // Электроника инфо. 2007. № 9. С. 44–46.
3. *Коротяев, Н. А., Попечниц В. И.* // Электроника инфо. 2012. № 1. С. 99–102.