

## Метод контроля цифровых систем с минимальной избыточностью



Современные цифровые системы управления, работающие на транспорте или в промышленной автоматизации, должны не только правильно вычислять, но и самостоятельно обнаруживать собственные сбои. Одиночный отказ логического элемента может исказить выходной сигнал, и если система не отследит это в режиме реального времени, последствия могут быть критическими.

Один из стандартных способов обеспечения такой надежности — дублирование вычислительных блоков с последующим сравнением результатов. Но этот подход удваивает аппаратные затраты, что часто неприемлемо. Альтернатива — методы кодового контроля, где правильность работы проверяется через принадлежность выходных векторов к разрешённому множеству кодовых слов. Однако для многих типов кодов, включая классические постоянно-весные, схемы контроля получаются громоздкими, а их собственное тестирование требует сложных проверочных последовательностей.

Группа исследователей из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, а также специалисты Ташкентского государственного транспортного университета,

предложила метод, который обходит эти ограничения. Вместо дублирования они используют логическую коррекцию сигналов — предварительное преобразование выходов диагностируемого устройства в кодовые слова специальной структуры. В качестве рабочего алфавита взята композиция двух постоянновесных кодов «1 из 4» и «3 из 4».

Авторы строго доказали два ключевых факта. Первый: для приведения любого выходного вектора к разрешённому кодовому слову достаточно одного элемента «исключающее ИЛИ» на каждый корректируемый канал. Второй: сам контроллер (чеккер) этой кодовой композиции проверяется всего четырьмя тестовыми наборами — например, {1000, 0010, 1101, 0111}. Это значит, что схема контроля остается полностью самопроверяемой, а ее тестирование не требует сложных процедур.

Эксперименты проводились на стандартном наборе тестовых схем MCNC Benchmarks. Для большинства схем метод показал меньшую структурную избыточность по сравнению с дублированием. В ряде случаев выигрыш достиг 20–25%. При этом все требования к обнаружению неисправностей модели одиночных константных отказов были выполнены.

Предложенный подход может быть адаптирован под различные элементные базы и в первую очередь применим там, где критичны как надежность, так и ограничения по площади микросхемы — в системах управления транспортом, робототехнике и встраиваемых контроллерах.

*Оригинал статьи: [Design of Self-Checking Discrete Devices Based on Boolean Signals Correction and Composition of Constant-Weight Codes "1-Out-of-4" and "3-Out-of-4". IEEE Access, 2026, Volume 14, 42924 - 42942.](#)*