

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF A RECONFIGURABLE SUPERCOMPUTER STRUCTURE

*D. Krakhmalev
L. Demidov
V. Loseva*

Summary. The article deals with the issues of building a system of integration of majority-reserved complexes in supercomputer structures based on redundant interfaces, including the development of the structure and architecture of a reconfigurable supercomputer structure — SCS, the use of a majority-reserved complex with triple redundancy as the main cell for the construction of SCS. The purpose of the research is to increase the survivability of supercomputer systems at the required level of performance. To achieve this goal, the problem of synthesis of structural and architectural variants of the construction of functional elements of such systems has been solved.

Keywords: supercomputer structures, majority elements, aggregation, redundancy, interfaces.

Крахмалев Дмитрий Владимирович

*К.т.н., доцент, Финансовый университет при
правительстве РФ
DKrakhmalev@fa.ru*

Демидов Лев Николаевич

*К.т.н., доцент, Финансовый университет при
правительстве РФ
LDemidov@fa.ru*

Лосева Вероника Валентиновна

*Доцент, Финансовый университет при
правительстве РФ
VVloseva@fa.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы построения системы комплексирования мажоритарно-резервированных комплексов в суперкомпьютерных структурах на основе резервированных интерфейсов, в том числе — разработки структуры и архитектуры реконфигурируемой суперкомпьютерной структуры — СКС, использование в качестве основной ячейки построения СКС — мажоритарно-резервированного комплекса с тройным резервированием. Целью проводимого исследования является повышение живучести суперкомпьютерных систем при требуемом уровне быстродействия. Для достижения поставленной цели решена задача синтеза структурных и архитектурных вариантов построения функциональных элементов таких систем.

Ключевые слова: суперкомпьютерные структуры, мажоритарные элементы, комплексирование, резервирование, интерфейсы.

Введение

Анализ существующих структур, применяемых при разработке суперкомпьютерных систем (СКС), с использованием интенсивных и экстенсивных методов построения показал, что эти методы не обеспечивают требуемый уровень живучести [1].

Накопленный авторами опыт разработки специальных вычислительных комплексов с большой наработкой на отказ (порядка 100000 часов) позволил предложить решение задачи, в основе которой лежит новый метод выбора структуры и архитектуры СКС.

С целью повышения живучести при требуемом быстродействии СКС, в работе рассмотрены вопросы:

- ♦ разработки структуры и архитектуры реконфигурируемой СКС;
- ♦ использования в качестве основной ячейки построения СКС — мажоритарно-резервированного комплекса;
- ♦ упрощения схемы модулей комплексирования функциональных частей СКС;
- ♦ использования в качестве основного коммутационного оборудования мажоритарных элементов комплектов;
- ♦ применения в модулях комплексирования ячеек СКС интерфейсов, как широких, так и узких, в основном с разделенными магистралями источников и приемников информации;
- ♦ расположения стоек СКС внутри ячеек, а также самих ячеек в СКС.

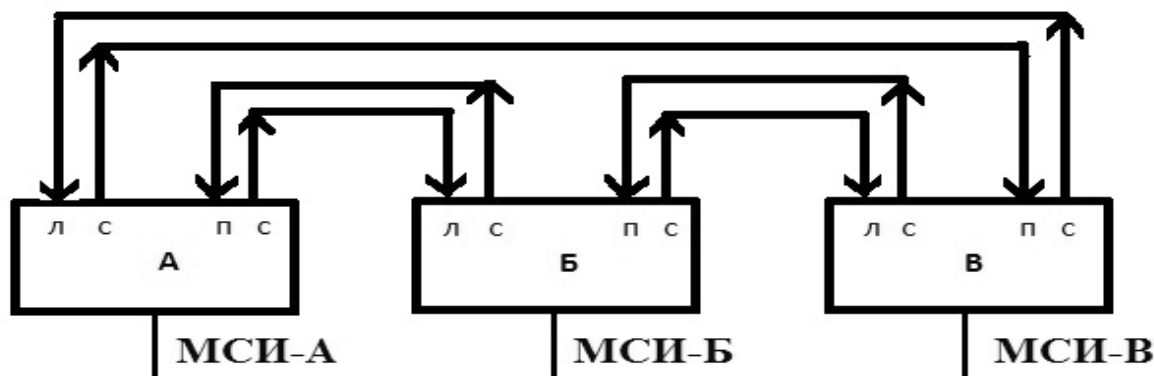


Рис. 2. Схема системы комплексов одной ячейки

Разработка системы комплексов

Требования к надежности, живучести и наращиваемости вычислительных систем, в дальнейшем-ВС, наиболее точно были сформулированы А.В. Каляевым в монографии «Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой» [5]. При этом особо подчеркивалось о необходимости обеспечения эффективной системы переключения различных функциональных частей ВС, что невозможно сделать без гибкой мощной коммутации и без возможности программирования архитектуры ВС.

Повысить надежность ВС можно в результате использования при ее конструировании минимального числа различных типов функциональных частей, в дальнейшем-ФЧ, регулярность соединений последних и само-восстанавливаемость каналов связи.

Этим условиям удовлетворяет многопроцессорная система, состоящая из однотипных ФЧ, имеющая возможность перестраивать и автоматически восстанавливать архитектуру ВС.

Надежность может быть также повышена за счет использования методов мажорирования. В многопроцессорных системах, обладающих программируемой коммутацией, эти методы позволяют повышать надежность программным путем за счет резервирования работы наиболее ответственных ФЧ.

В ходе исследования авторами в качестве основного элемента системы предложена схема тройного мажоритарного резервирования комплексов [2]. При этом рассмотрена работа резервированных комплексов в режимах резервирования 1001,1002,1003,2002,2003. Решены вопросы синхронизации работы мажоритарно-резервированных комплексов, в том числе с учетом времени

перекося сигналов между комплектами [3]. Показана возможность наращивания архитектуры системы за счет однородности ее построения.

Перестройка архитектуры системы производится за счет перепрограммирования схемы управления мажоритарными элементами в каждом из резервированных комплексов в соответствии с программно-задаваемыми признаками резервирования.

В общем виде структурная схема сегмента ВС представлена на Рис. 1. ВС представляет собой ячейковую структуру, основным элементом каждой ячейки которой являются три программно-управляемых комплекта, связанных между собой межкомплектными связями, обеспечивающими доступ к мажоритарным элементам одноименных сигналов соседних комплектов.

На Рис. 2 изображена схема системы комплексов одной ячейки, где А, Б, В, это резервированные комплекты ячейки; МСИ-А, МСИ-Б, МСИ-В это магистрали системных интерфейсов комплектов А, Б, В соответственно. В качестве исходных данных для схем резервирования введены следующие обозначения:

1. С- сигнал своего комплекта;
2. Л- сигнал левого комплекта;
3. П- сигнал правого комплекта.

При этом для комплектов А, Б, В в качестве своего, левого и правого будут комплекты:

1. для комплекта А: свой — А, левый — В, правый — Б;
2. для комплекта Б: свой — Б, левый — А, правый — В;
3. для комплекта В: свой — В, левый — Б, правый — А.

Очевидно, что, если комплекты одной ячейки расположить относительно друг друга как показано на Рис. 2, возникает проблема синхронизации в работе комплектов из-за разницы в длине межкомплектных связей меж-

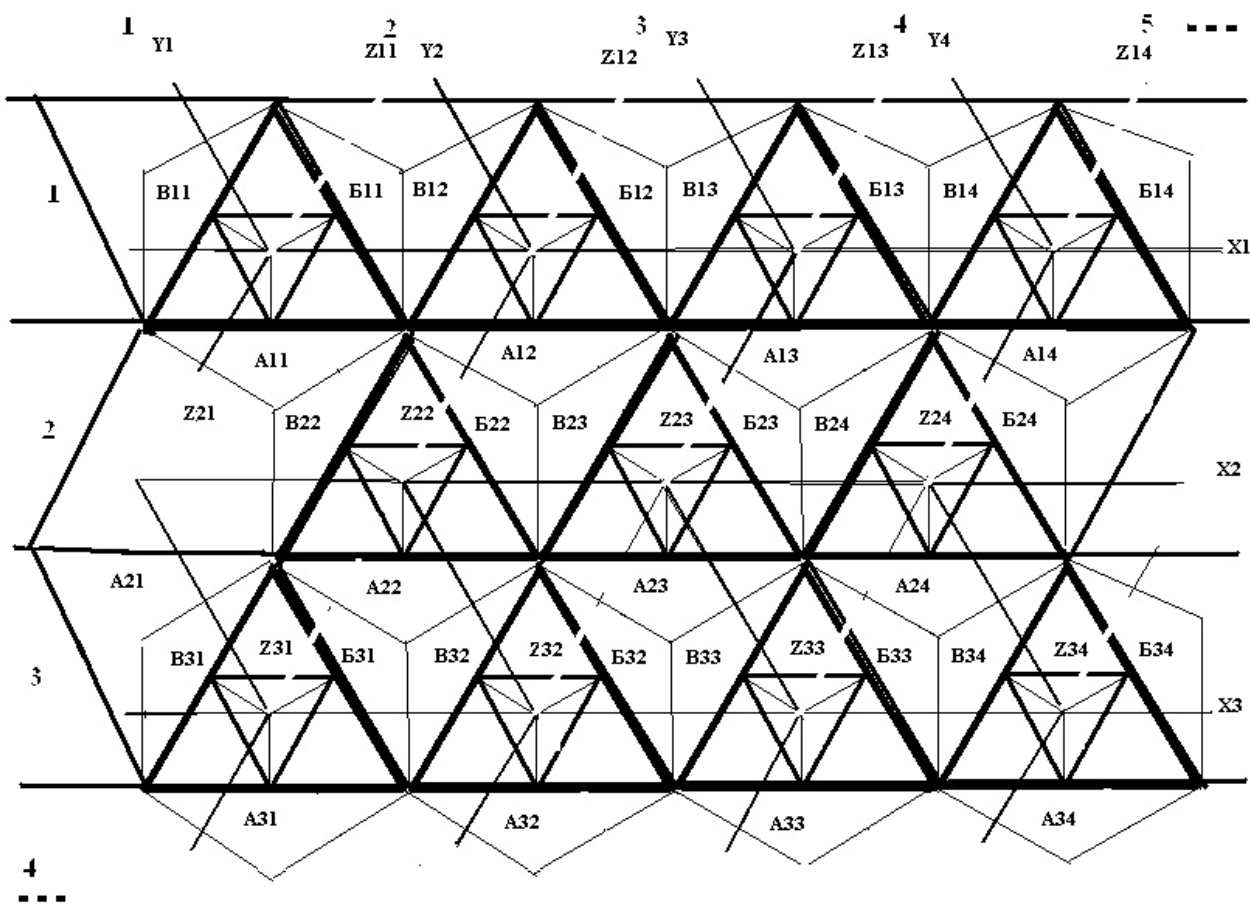


Рис. 1. Структурная схема сегмента вычислительной системы

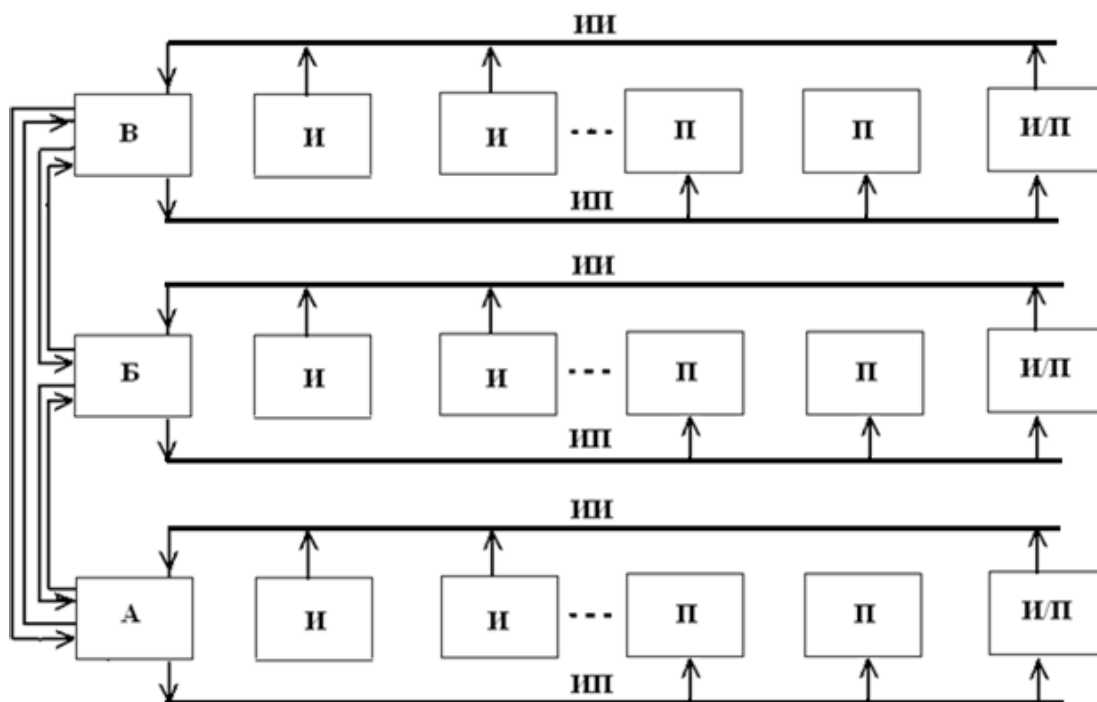


Рис. 3. Структурная схема одной ячейки комплекса

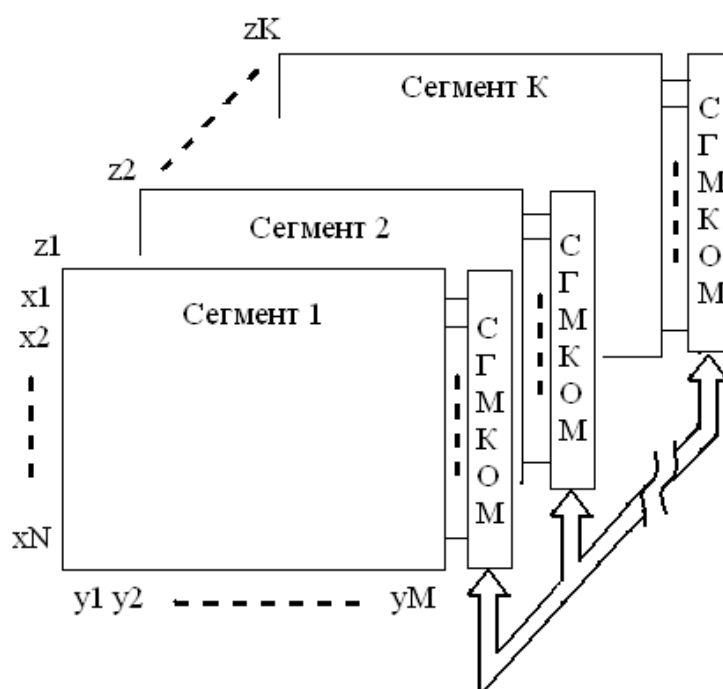


Рис. 4. Структурная схема комплексирования сегментов ВС

ду ближними и дальними комплектами, а значит и в разнице времен распространения сигналов между ними. На Рис. 1 эта проблема устранена за счет расположения резервированных комплектов по сторонам равнобедренного треугольника, например А11, Б11, В11, межкомплектные связи в этом случае имеют одинаковую длину между соседними комплектами.

Проблемы синхронизации работы в микропроцессорных структурах подробно рассмотрены в работе [6], в том числе применительно к системам с тройным мажоритарным резервированием — в работах [3,4].

В работе [2] рассмотрена работа мажоритарно-резервированного дублированного — 1002, 2002, повторительном — 1001,1002.1003. В частности, обеспечение работы в этих режимах мажоритарных элементов, стало возможным из-за введения признаков резервирования в схемы формирования сигналов управления мажоритарными элементами. Введение признаков резервирования также позволяет комплектам любой ячейки работать независимо друг от друга, что в свою очередь позволяет создать гибкий механизм реконfigurирования ВС в процессе работы. При этом упрощается схема комплексирования функциональными частями ВС. Мажоритарные элементы периферийного оборудования могут выполнять функции коммутаторов ВС.

На Рис. 3 представлена структурная схема одной ячейки комплекса, где А, Б и В являются задатчиками

магистралей источников и приемников информации соответствующих комплектов. Авторы предлагают с целью повышения быстродействия в схемах процессоров вводить отдельно интерфейсы источников информации (ИИ) и интерфейсы приемников (ИП) информации.

Задачи разработки имитационной модели функционирования элементов СКС при ее реконfigurировании в различных режимах резервирования, а также анализ эффективности функционирования телекоммуникационной сети, соответствующей ВС, представленной на Рис. 1, упрощается из-за соблюдения условий мультифрактального характера трафика.

В ходе разработки ВС авторы придерживались соблюдения условий самоподобия, характерных для топологии фрактальных структур.

На Рис. 4. представлена структурная схема комплексирования ВС, где СГМКОМ — сегментаторы-коммутаторы ВС.

Связь между отдельными ячейками сегментов комплекса и между сегментами ВС осуществляется по координатам X, Y, Z. В качестве проводящей среды каналов связи предлагается использовать оптические или любые другие проводные линии связи. Предпочтение авторы отдают каналам связи цифровых групповых трактов приема-передачи. Сегментаторы обеспечивают полно-

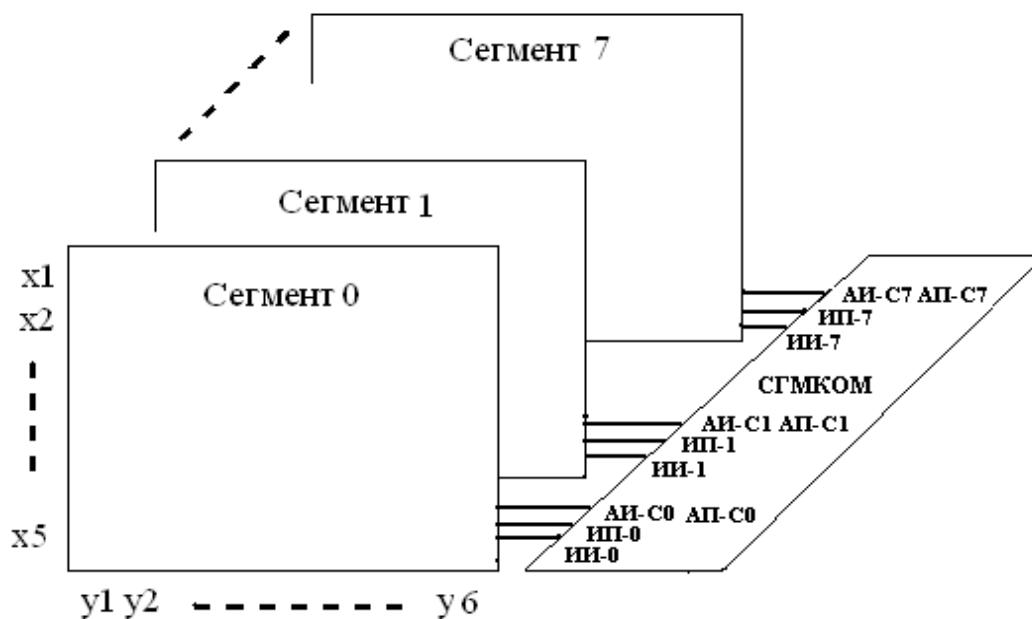


Рис. 5. Структура одного сегмента при организации матрицы 6*5

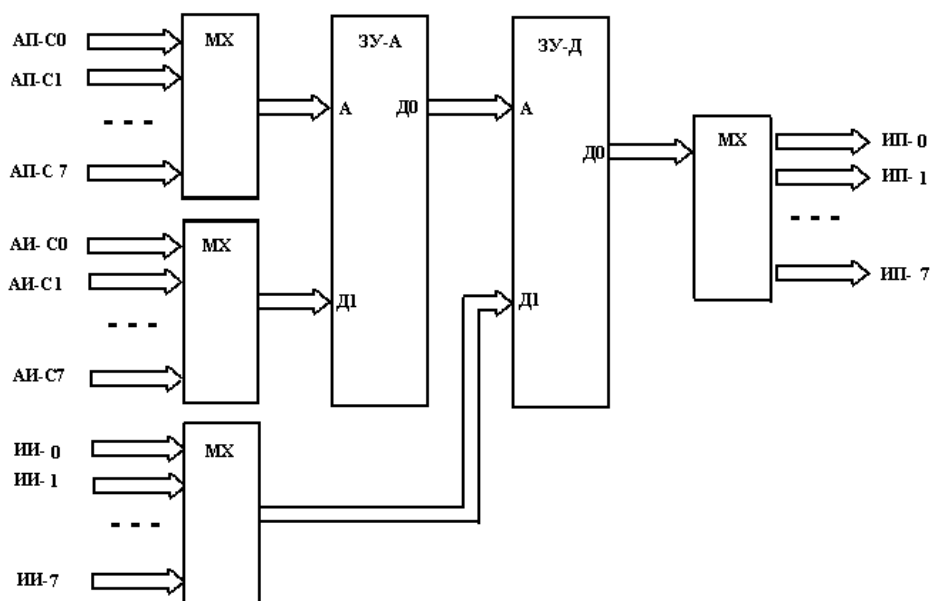


Рис. 6. Структурная схема организации потоков СГМККОМ рассматриваемой ВС

доступную схему связи между всеми функциональными частями ВС. Рассмотрим пример такого применения.

В качестве ячейки ВС будем использовать мажоритарно-резервированный комплекс, рассмотренный выше. На Рис. 5 приведена структура одного сегмента при организации матрицы 6*5. Связи между ячейками показаны сплошной линией.

Каждому комплексу ячейки сегмента соответствует каналный интервал потока. Для организации передачи данных между ячейками используем три взаимосвязанных потока: данные интерфейса источников информации, данные интерфейса приемников информации, адреса источников/приемников информации. Для передачи адресов источников и приемников информации предлагается использовать один поток. При этом, номера

канальных интервалов потоков соответствуют номерам ячеек одного сегмента ВС. Содержимое канальных интервалов адресного потока представляет собой двоичный код адреса приемника информации, который состоит из адреса потока информации сегмента (три старших разряда) и адреса соответствующего ему канального интервала приемника информации (пять младших разрядов). Поток адресов источников/приемников информации необходим для формирования содержимого адресного запоминающего устройства СГМКОМ. Адрес приемника информации, в том числе номер сегмента и номер его канального интервала, формирует сам источник информации, записывая его в канальный интервал, номер которого соответствует номеру канального интервала источника соответствующего сегмента. Номер сегмента источника СГМКОМ определяет по номеру адресного потока. На Рис. 6 приведена структурная схема организации потоков рассматриваемой ВС, где АП-С_і — адреса приемников информации потока і-го сегмента; АИ-С_і — адреса источников потока і-го сегмента; ИИ-і — данные интерфейса источника потока і-го сегмента; ИП-і — данные интерфейса приемника потока і-го сегмента; МХ — мультиплексоры; ЗУ-А — запоминающее устройство адресов сегментов и канальных интервалов источников информации; ЗУ-Д — запоминающее устройство данных сегментов и канальных интервалов источников информации; Д1/Д0 — вход/выход запоминающих устройств; А — адреса ячеек ЗУ-А, ЗУ-Д. На Рис. 6 не показаны цепи управления и синхронизации работы СГМКОМ.

В ЗУ-А адрес ячейки соответствует адресу приемника информации, в том числе адрес сегмента и номер канального интервала адресного потока, а в ЗУ-Д со-

ответственно источника информации. В ЗУ-А данные ячейки соответствуют адресам источника информации для соответствующего адреса приемника. В ЗУ-Д данные ячейки соответствуют данным канальных интервалов интерфейса источника. Использование концепции времени импульсного уплотнения позволит производить обмен информацией между абонентами ВС по полноступной схеме. В потоках ИИ и ИП может передаваться информация любого вида, в том числе например:

1. запросы на осуществление доступа источника в том или ином приемнике;
2. выбор протокола обмена между источником и приемником;
3. перераспределение канальных интервалов между абонентами ВС;
4. адреса источников и приемников данных;
5. коды функций, команды или состояния;
6. суб-адреса;
7. указатели параметров обмена, в том числе длины передаваемого пакета данных;
8. собственно данные;
9. рамки кадра или защитная информация;
10. и т.п.

Заключение

С целью повышения живучести при требуемом быстродействии СКС, в работе рассмотрены вопросы разработки структуры и архитектуры реконфигурируемой суперкомпьютерной структуры. Приведена постановка задачи разработки имитационной модели функционирования элементов СКС при ее реконфигурировании в различных режимах резервирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.К. Мельников, Исследование путей модернизации реконфигурируемых вычислительных систем // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014, 12. — С. 83–89.
2. Ксенофонтов А.С., Сыцевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Сыцевич С.Н. Повышение живучести мажоритарно-резервированных систем управления // Известия КБНЦ РАН № 6(68) Том II, Нальчик, 2015. — С. 100–104.
3. Сыцевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Москаленко Л.А., Моллов М.З. Синхронизация работы мажоритарных элементов резервированных комплектов систем управления // Современные наукоемкие технологии № 8(2), 2016. — С. 261–264.
4. Сыцевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Крахмалев Д.В., Жабоев Ж.Ж. Мажоритирование сигналов с допустимым уровнем рассогласования в мажоритарно-резервированных системах // Современные наукоемкие технологии № 5, 2017. — С. 73–77.
5. Каляев А.В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. — М.: Радио и связь, 1984. — 240 с.
6. С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 272 с.

© Крахмалев Дмитрий Владимирович (DKrakhmalev@fa.ru),

Демидов Лев Николаевич (LDemidov@fa.ru), Лосева Вероника Валентиновна (VVLosева@fa.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»