

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИЕЙ МНОГОЯРУСНОЙ АМРС ПО ТЕКУЩЕМУ КРИТЕРИЮ КОРРЕЛЯЦИИ ОТКАЗОВ ВЫСОКОИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЕЁ ЯРУСОВ

к.т.н. А.П. Зенин

(представил д.т.н., проф. В.С. Харченко)

Рассматривается вопрос влияния зависимости (корреляции) отказов, возникающей среди элементов высокоинтегрированной элементной базы при использовании её естественной (внутрикристалльной) избыточности для реализации резервированных структур. Предложены метод и средство снижения ее влияния на безотказность многоярусной адаптивной мажоритарно - резервированной структуры.

Применение высокоинтегрированной элементной базы в цифровых системах управления летательных комплексов (ЦСУ ЛК) вносит существенные особенности в реализацию методов и средств обеспечения их надежности. Помимо расширения возможностей в использовании традиционных способов резервирования за счет вводимой (искусственной) структурной избыточности для реализации функциональной избыточности, децентрализованного управления и т. д., высокоинтегральная элементная база СБИС, ПЛМ, БМК может использовать для резервирования так называемую естественную (внутреннюю) избыточность своих кристаллов и матриц. При этом резервированные структуры реализуются на внутрикристалльном уровне, обеспечивая эффект раздельного резервирования элементарных устройств без дополнительных аппаратных затрат и, соответственно, без увеличения габаритно - весовых характеристик аппаратуры ЛК. Эта естественная избыточность БИС, СБИС, БМК, ПЛМ и т.д. обусловлена стандартным характером их построения, при котором фиксированная разрядность и число ячеек приводит к наличию свободных полей, зон и линеек в них.

Наибольшими возможностями повышения надежности и реализации на высокоинтегрированной базе обладают регулярные резервированные структуры, среди которых следует выделить многоярусные адаптивные мажоритарно - резервированные структуры (МАМРС), нашедшие широкое применение в ЦСУ ракетно - космических комплексов благодаря своим свойствам отказоустойчивости и, особенно, сбоеустойчивости [1]. Уникальная устойчивость к сбоям МАМРС достигается за счет поразрядного поканального мажорирования цифровой информации на промежуточных мажоритарных участках последовательного канала обработки информации, которые называются "ярусами". Отказоустойчивость МАМРС реализуется с помощью адаптивных мажоритарных органов (АМО) ярусов, которые не только выпол-

няют перестройку мажоритарно - резервированной структуры яруса в одно-канальную конфигурацию (ОКФ) при отказе 2-х его каналов. АМО также отключают мажоритарный элемент (МЭ) от выходов резервированных каналов яруса, соединяя их с входами одноименных каналов последующего яруса, чем формируют его “транзитную” конфигурацию (ТКФ). Подключая МЭ обратно к выходам яруса из его ТКФ, такие АМО осуществляют ярусно - пороговую адаптацию МАМРС, изменяя число каналов в ярусах и число МЭ в структуре.

Разработаны структурные схемы таких АМО, а также устройств контроля и реконфигурации, которые управляют этим АМО [2, 3]. Оптимальное для максимизации показателя безотказности число АМО (число ярусов) K_0^B определяется в результате решения “Задачи оптимальной декомпозиции” (ЗОД) и составляет значение от нескольких десятков до нескольких сотен в зависимости от характеристик системы [2, 4].

Однако увеличение числа мажоритарных ярусов по требованию безотказности при реализации МАМРС на высокоинтегрированной базе вызывает проявление зависимости отказов между элементами ярусов когда МЭ становится не препятствием, а её “переносчиками”.

Такая зависимость отказов, получившая название корреляции отказов МАМРС, проявляется в том, что отказы одних резервированных элементов приводят к изменению интенсивности отказов (обычно – к увеличению) других, вследствие их взаимной однотипности, близости и связности, снижая эффект мажоритарного резервирования.

Известные практические методы учета корреляции сводятся к определению коэффициента корреляции усредненного по всем ярусам, а затем на него делится оптимальное по безопасности число ярусов. Например, в [1] значение коэффициента принимается равное 2, уменьшая число ярусов МАМРС с 126 до 63. Такой метод приводит к потерям безотказности, так как разные ярусы могут иметь различные величины корреляции. В статье предлагается индивидуализировать ярусы по корреляции, исключая из них МЭ, только в местах сильного проявления корреляции отказов.

Сущность предлагаемого метода заключается в разбиении множества элементов (для нас – ярусов) системы на группы непересекающихся множеств (групп ярусов), в которых элементы “близки” друг к другу в смысле “близости” переходов ошибок от одного к другому [5]. В качестве меры близости предлагается принять вероятность a_{ij} того, что отказ элемента i - го яруса через его МЭ приводит к увеличению интенсивности отказов элементов j - го яруса. Для МАМРС множество проявлений корреляции отказов между ярусами в этом случае представляется матрицей корреляционных вероятностей a_{ij} ($\|A\|$) размерностью $K_0^B \times K_0^B$ (где K_0^B - число ярусов МАМРС, определенное ЗОД для повышения безотказности).

Корреляционная “близость” ярусов устанавливается путем сравнения вероятностей a_{ij} с определенным граничным значением $a^Г$. Если $a_{ij} \geq a^Г$,

то ярусы i и j считаются сильнокоррелируемыми и могут быть объединены в одну группу, из ярусов которых “исключается” МЭ путем включения его АМО в ТКФ, в результате чего образуется один “укрупнённый” ярус с общим АМО на выходе. В итоге такого “группирования” ярусов в местах проявления сильной корреляции исходное число ярусов (АМО) K_0^B МАМРС уменьшается на количество ΔK_k “исключенных” мажоритарных органов ($K_0^K = K_0^B - \Delta K_k$). Если корреляция отказов соседних ярусов находится в допустимых пределах ($a_{ij} < a^\Gamma$), то они считаются независимыми, оставляя МЭ на своих местах. В этом случае степень “опознания” корреляции и, следовательно, степень группирования ярусов зависит от величины a^Γ , которая наряду с величинами a_{ij} , выступает в качестве исходных данных. Конкретные значения a^Γ и a_{ij} определяются для конкретной системы путем её схемотехнического анализа, с помощью статистических данных или путем имитационного моделирования.

Основное содержание и порядок “Методики определения оптимального числа ярусов МАМРС по показателю корреляции отказов” состоит в следующем.

1. Для получения исходных данных решается ЗОД, определяя число K_0^B ярусов МАМРС, оптимальное по показателю безотказности. Все ярусы оснащаются АМО, реализующие ТКФ.

2. В качестве исходных данных определяются величины корреляционных вероятностей (КВО) отказов a_{ij} и a^Γ . Составляется матрица $\|A\|$ размерностью K_0^B .

3. На основании матрицы A и значения a^Γ составляется матрица B размерностью K_0^B по правилу:

$$b_{ij} = a_{ij}, \quad \text{если } a_{ij} \geq a^\Gamma; \quad b_{ij} = 0, \quad \text{если } a_{ij} < a^\Gamma. \quad (1)$$

4. На основании матрицы B по её i -м строкам составляются группы $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_{K_0^B}$ в количестве K_0^B , где B_i – группа, составленная из КВО ярусов, которым соответствуют значения b_{ij} (при $a_{ij} \geq a^\Gamma$) в i -й строке B .

5. С целью исключения повторений одних и тех же ярусов в различных группах ($B_i \cap B_j = \emptyset$) и однозначного их распределения, для каждого яруса во всех группах B_i , где он повторяется, вычисляется функционал F :

$$F = \sum_{v=1}^n \frac{1}{L_v} \sum_{i,j \in R_v, i \neq j} a_{ij}, \quad (2)$$

где n – количество групп, в которые объединяются сильнокоррелируемые ярусы; L_v – число ярусов в v -й группе; R_v – v -ая группа ярусов.

6. Из полученных значений функционалов F_{ij} для первого яруса (и далее j -х) по всем группам B_i выбирается его максимальное значение

$$F_1^{\max} = \max_{B_i} F_{i1}, \quad (3)$$

которое соответствует той группе, где этот ярус обладает наибольшим значением корреляции, чем и определяется его место в группе.

7. Аналогичным образом определяются однозначные места остальных ярусов в их совместном группировании, которое соответствует выбранному значению \mathbf{a}^Γ .

8. Если значение \mathbf{a}^Γ не может быть выбрано оптимальным, то предусмотрена итерационная процедура поиска оптимального значения \mathbf{a}^Γ , которая в данной статье не приводится.

9. После получения \mathbf{n} таких групп ярусов их размещение в многоярусной структуре в зависимости от корреляции решается следующим образом:

- если в одну группу попадают мажоритарно - связанные ярусы, то в них исключается МЭ (АМО переключаются в состояние ТКФ), объединяя эти ярусы в один укрупненный (объединенный) с одним АМО на выходе;

- если в группу попали ярусы, мажоритарно не связанные между собой, то МЭ “остаются” в этих ярусах (АМО переключаются в мажоритарную конфигурацию (МКФ));

- если мажоритарно - связанные ярусы находятся в разных группах, то АМО остаются в их структурах.

10. В результате такого «выборочного» исключения МЭ из структуры определенного числа ярусов их общее число K_0^B МАМРС уменьшается на значение ΔK_k в местах проявления корреляции отказов, снижая её влияние на мажоритарное резервирование и безотказность системы в целом. Переключение определенных АМО ярусов либо в ТКФ (для объединения ярусов), либо в МКФ, либо в ОКФ, где произошёл отказ 2-х каналов, реализуется подачей на управляемый коммутатор АМО двухразрядного управляющего сигнала из устройства контроля и управления реконфигурацией системы [3], производя “настройку” АМО многоярусной структуры по показателю корреляции.

Анализ влияния корреляции отказов в МАМРС предполагает, что реконфигурация её структуры по ОКФ для парирования отказов 2-х каналов в трёхканальном ярусе изменяет корреляционное взаимодействие ярусов. Эти изменения проявляются в изменении значений КВО $\left\{ a_{ij}^* \right\}$, что может быть

отражено новой матрицей $\left\| \mathbf{A}^* \right\|$. Значит, каждому Ψ - му отказу 2-х каналов в

каком - либо ярусе может соответствовать своя корреляционная матрица \mathbf{A}_Ψ , которой должно соответствовать новое число ярусов $K_0^{K\Psi}$ или новое распределение (группирование) мажоритарных органов в многоярусной структуре системы. Такое “перегруппирование” выполняется с помощью переключения АМО в состояния “ТКФ – МКФ – ОКФ” по соответствующим ярусам, что может быть реализовано в виде “карты настройки” АМО, которая содержит

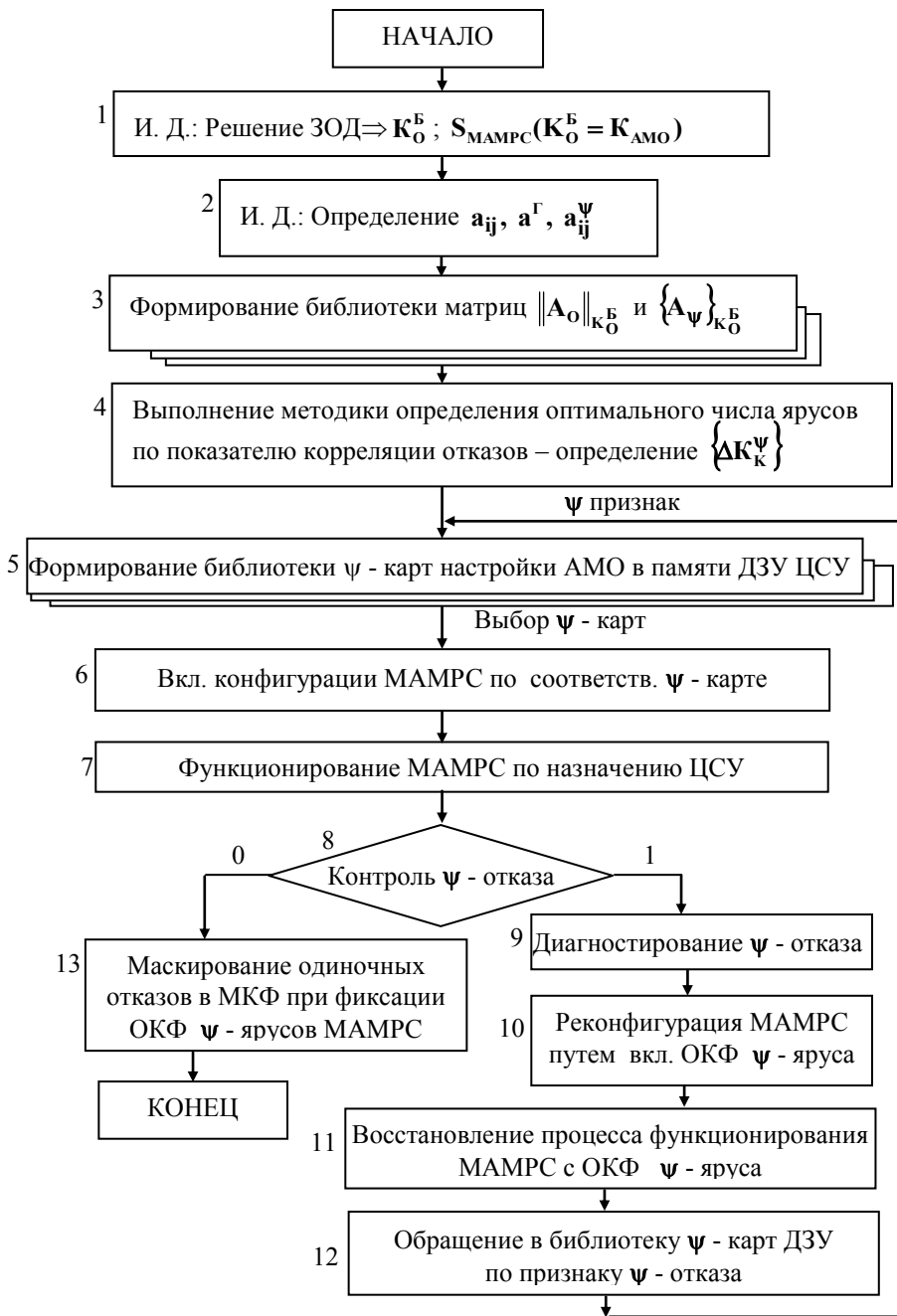


Рис. 1. Алгоритм управления ярусно-пороговой адаптацией МАМРС по текущему показателю корреляции отказов

позиционные коды управляющих сигналов для коммутаторов АМО.

Следовательно, каждому Ψ - му отказу для каждого яруса с помощью своей матрицы A_{Ψ} может быть составлена соответствующая “карта настройки” АМО МАМРС по Ψ - му отказу.

Если для конкретной МАМРС ЦСУ составить библиотеку таких “карт настройки” её АМО для всех возможных Ψ - отказов (отказов 2-х каналов по всем ярусам) то её можно хранить в памяти ДЗУ ЦСУ. Тогда при диагностировании Ψ - отказа МАМРС по его признаку из памяти библиотеки считывается соответствующая “карта настройки” АМО. Управляющие сигналы из линейки этой карты подаются на АМО и производят их переключение, меняя расположение или количество мажоритарных органов МАМРС, чем реализуется новая степень адаптации МАМРС по текущему показателю корреляции отказов элементов её ярусов.

На рис. 1 предложен формализованный алгоритм управления такой адаптацией МАМРС по текущему показателю корреляции отказов, который реализует управление ярусно - пороговой адаптацией по двум параметрам структуры:

- числу каналов (порогу АМО) – ярусов для обеспечения безотказности МАМРС ЦСУ;
- по количеству и распределению АМО в многоярусной структуре для снижения влияния корреляции отказов на её безотказность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривоносов А. И. Методические вопросы проектирования и эксплуатации СЦВМ. – Х.: НПО “Хартрон”, 1989. – 162 с.
2. Харченко В. С., Зенин А. П. Методы многопараметрической адаптации бортовых управляющих и вычислительных систем с отдельным мажоритарным резервированием // *Космічна наука і технологія*. – 1999. – Т. 5, № 5/6. – С. 81 - 91.
3. Зенин А. П., Харченко В. С. и др. Адаптивная мажоритарно - резервированная система с контролем и управляемой реконфигурацией / Заявка на выдачу патента Украины № 93005327 от 10.02.94.
4. Зенин А. П. О методике декомпозиции адаптивных МРС, оптимальной по показателям безотказности и ремонтпригодности // *Сб. научных статей ХВУ*. – Х.: ХВУ. – 1993. – С. 23 – 28.
5. Гаппарян Ю. М., Арутюнян Г. А. К вопросу оптимального резервирования логических схем // *Вопросы радиоэлектроники. Серия Э.В.Т.* – 1982. – № 414. – С. 125 - 137.

Поступила 28.03.2002

ЗЕНИН Андрей Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры ХВУ. В 1981 году окончил ХВВКУ. Область научных интересов – надежность и отказоустойчивость резервированных цифровых СУ.