МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ИЗУЧЕНИЕ МАЖОРИТАРНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЭС

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов Самарского университета, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных систем и устройств, 12.03.04 Биотехнические системы и технологии

Составитель: *В.А. Зеленский,*
К.И. Сухачев

С А М А Р А
Издательство Самарского университета
2020

© Самарский университет, 2020

УДК 621.38(075)+004.9(075)
ББК 31.2я7+32.81я7

Составители: ***В.А. Зеленский, К.И. Сухачев***

Рецензент канд. техн. наук, доц. К. Е. В о р о н о в

Изучение мажоритарного резервирования РЭС: методические указания / Сост.: *В.А. Зеленский, К.И. Сухачев;* Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Самарский университет. − Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 1 CD-ROM (0,5 Мб). – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

Излагаются методы определения надежности параллельно последовательных структур, рассмотрены области их применения. Приводятся примеры расчета мажоритарной схемы резервирования. Рассмотрены её свойства и особенности. Приведено подробное описание лабораторного стенда.

Методические указания могут применяться при проведении лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам «Теоретические основы конструирования и надежности», «Методы обеспечения надежности РЭС».

Предназначены для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 12.03.04 Биотехнические системы и технологии.

Методические указания разработаны на кафедре «Конструирование и технология электронных систем и устройств».

УДК 621.38(075)+004.9(075)
ББК 31.2я7+32.81я7

Минимальные системные требования:
PC, процессор Pentium, 160 МГц; оперативная память 32 Мб;
на винчестере 16 Мб; Microsoft Windows XP/Vista/7;
разрешение экрана 1024x768 с глубиной цвета 16 бит;
DVD-ROM 2-x и выше, мышь; Adobe Acrobat Reader.

© Самарский университет, 2020

Редактор Т.К. Кретинина
Компьютерная вёрстка А.В. Ярославцевой

Подписано для тиражирования 13.08.2020.
Объем издания 0,5 Мб.
Количество носителей 1 диск.
Тираж 10 дисков.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5

2. РАСЧЕТ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМ НАДЕЖНОСТИ 9

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА 14

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 17

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 19

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В соответствии с ГОСТ 27.002 - 89 резервированием называется применение дополнительных средств и (или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов. Таким образом, резервирование - это эффективный метод повышения надежности объекта путем введения избыточности. В свою очередь, избыточность - это дополнительные средства и (или) возможности, сверхминимально необходимые для выполнения объектом заданных функций. Введением избыточности обеспечивается нормальное функционирование объекта после возникновения отказа в его элементах.

Методы резервирования (рис.1) разделяют по виду резервирования, способу соединения элементов, кратности резервирования, способу включения резерва, режиму его работы и восстанавливаемости.

К дополнительным средствам и возможностям при резервировании относятся элементы, введенные в структуру системы в качестве резервных, функциональные и информационные средства и возможности, использование избытка времени и запасов нагрузочной способности.

Функциональное резервирование - это резервирование, при котором заданная функция может выполняться различными способами и техническими средствами.

Информационное резервирование - это резервирование с применением избыточности информации.

Временное резервирование - связано с использованием резервов времени. При этом предполагается, что на выполнение объектом требуемой работы отводится время, которое заведомо больше минимально необходимого.

Нагрузочное резервирование - это резервирование с применением нагрузочных резервов. Оно заключается в обеспечении оптимальных запасов способности элементов выдерживать действующие на них нагрузки.

Рисунок 1 - Виды резервирования

Часто динамическое резервирование представляет **собой резервирование замещением**, при котором функции основного элемента в случае его отказа передаются резервному. Резервирование с включением резерва замещением обладает следующими преимуществами:

- не нарушает режима работы резерва;
- сохраняет в большей степени надежность резервных элементов, так как при работе основных элементов они находятся в нерабочем состоянии;
- позволяет задействовать резервный элемент в цепях на несколько основных элементов.

Существенным недостатком резервирования замещением является необходимость наличия переключающих устройств. При раздельном резервировании число переключающих устройств равно числу основных элементов, что может значительно понизить надежность всей системы. Поэтому резервировать замещением целесообразно крупные узлы или всю систему, при этом надежность переключающих устройств должна быть достаточно высокой.

Распространенным видом резервирования замещением является ***скользящее резервирование***, при котором группа основных элементов системы резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший основной элемент в данной группе.

В зависимости от режима работы резервных элементов до отказа основного элемента различают следующие виды резерва:

нагруженный **-** (один или несколько резервных элементов находятся в режиме основного элемента);

облегченный - (один или несколько резервных элементов находятся в менее нагруженном режиме, чем основной элемент);

ненагруженный - (один или несколько резервных элементов находятся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента).

Элементы нагруженного резерва имеют тот же уровень надежности (безотказности, долговечности и сохраняемости), что и резервируемые ими основные элементы объекта, поскольку ресурс резервных элементов расходуется так же, как и основных.

Элементы облегченного резерва обладают более высоким уровнем надежности, так как интенсивность расхода ресурса резервных

элементов до момента включения их вместо отказавших элементов значительно ниже, чем у основных. При ненагруженном резерве ресурс резервных элементов начинает расходоваться практически только с момента включения их вместо отказавших элементов.

По способу резервирования объекта (элемента объекта) различают резервирование ***общее*** и ***раздельное***.

При общем резервировании - объект резервируется в целом, вместо одного объекта предусматривается одновременная эксплуатация двух или более объектов, однотипных или аналогичных по выполняемым функциям. Этот способ достаточно простой; он широко применяется при резервировании наиболее ответственных систем.

При раздельном резервировании - резервируются отдельные элементы объекта или группы элементов, которые обычно встроены в объект; раздельно могут резервироваться как отдельные элементы системы, так и достаточно крупные ее части (блоки).

Динамическое резервирование может быть раздельным и общим, позволяет использовать резервные элементы не только в нагруженном, но и в облегченном и ненагруженном резерве, что, в свою очередь, позволяет сохранить ресурс резервных элементов, повысить надежность электрической системы в целом и уменьшить расход энергии.

2. РАСЧЕТ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СХЕМ НАДЕЖНОСТИ

Удобной графической интерпретацией последовательно-параллельных структур являются блок-схемы надежности. Эта визуальная модель представляет надежностные взаимосвязи между компонентами и не всегда соответствует реальному соединению элементов системы. Расчет показателей надежности в рамках этих моделей может осуществляться различными методами – формульными, логико-вероятностными, интегральными соотношениями, статистическим моделированием. В данной работе будет рассмотрен простейший метод расчета показателей надежности невосстанавливаемых последовательно-параллельных систем, основанный на использовании соотношений теории вероятностей, полученных из теорем полной вероятности и теорем сложения и умножения вероятностей. Метод ориентирован на произвольное распределение случайного времени возникновения отказов элементов, ограничимся рассмотрением экспоненциального случая. Для одного “экспоненциального” элемента формулы основных показателей безотказности сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Основные показатели безотказности элемента с экспоненциально распределенной наработкой до отказа

Наименование показателя	**Аналитическое выражение**
Вероятность безотказной работы на интервале (o,t)	$P(t)=e^{-\lambda t}$
Вероятность отказа на интервале (o,t)	$Q(t)=1-e^{-\lambda t}$
Плотность распределения случайной наработки до отказа	$f(t)=Q'(t)=\lambda e^{-\lambda t}$
Интенсивность отказов	λ
Средняя наработка до отказа	$T_0=\int_0^{\infty} e^{-\lambda t}dt=\frac{1}{\lambda}$

Реальные высоконадежные системы обычно представляют собой совокупность произвольно соединенных резервированных схем, такие системы называют сложными последовательно-паралельными системами. Для расчета показателей безотказности таких систем применяется процедура последовательного расчета звеньев по приведенным выше формулам и замене резервированного звена одним элементом с известной вероятностью безотказной работы. Эта процедура повторяется до тех пор, пока система не будет сведена к известной последовательно-параллельной конфигурации. На рисунке 2 представлена простейшая последовательно-параллельная схема, состоящая из участка с нагруженным резервным включением блоков ***B*** и ***C,*** и блока ***A,*** включенного без резервирования.

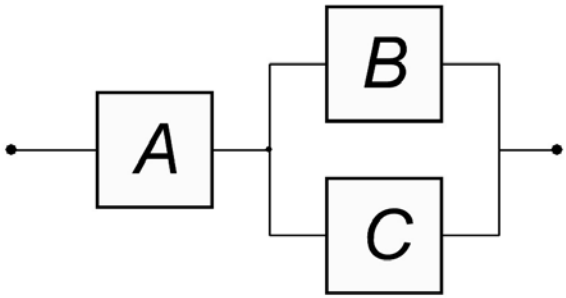

Рисунок 2 – Последовательно-параллельная схема

Для расчета надежности данной схемы необходимо выполнить две операции. На первом этапе вычисляется вероятность безотказной работы параллельного участка: $P_{BC}(t) = P_B(t) + P_C(t) - P_B(t)P_C(t)$. После чего схема замещается неизбыточной структурой из двух элементов, вероятность безотказной работы которой равна произведению вероятности безотказной работы участка ***A*** и участка ***BC***: $P(t) = P_A(t)P_{BC}(t) = P_A\left(P_B(t) + P_C(t) - P_B(t)P_C(t)\right)$.

Схемы “m из n”

Общим случаем схем параллельного соединения являются схемы "m $из$ n". Такая схема считается работоспособной, пока работают хотя бы m элементов из n. Отказом схемы является отказ минимум $n-m+1$ ее элементов, т.е.: $n-m+1,\ n-m+1,\ \dots,n$.

Общая процедура вычисления показателей надежности основана на формировании подмножества состояний работоспособности или подмножества состояний отказа множества всех возможных состояний схемы, отличающихся различными комбинациями работоспособных и отказавших элементов.

Всего имеем $n+1$ событий: $A_0, A_1, \dots, A_n$, из которых $n-m+1$ событие соответствует работоспособности схемы $(i=0 \div n-m)$, а m событий соответствуют отказу схемы $(i=n-m+1 \div n)$. Каждое событие формируется из C_n^i комбинаций i отказавших и $n-i$ работоспособных элементов. Очевидно, что события $A_0, A_1, \dots, A_n$ составляют полную группу несовместных событий. Тогда вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $Q(t)$ могут быть вычислены как сумма вероятностей возникновения соответствующих событий:

$$P(t)=P(A_0, A_1, \dots, A_m)=\sum_{i=0}^{n-m} C_n^i p^{n-i} q^i, \qquad (1)$$

$$P(t)=P(A_{m+1}, A_{m+2}, \dots, A_n)=\sum_{i=n-m+1}^{n} C_n^i p^{n-i} q^i, \qquad (2)$$

где $C_m^n=\dfrac{m!}{(m-n)!n!}$ - сочетания, количество всех возможных комбинаций из m элементов по n, $n \le m$.

Мажоритарная схема ”2 из 3”

Наиболее распространенной конфигурацией схем "m $из$ n" является конфигурация "2 $из$ 3". Часто эта конфигурация используется в информационных системах (аналоговых или

дискретных), в которых происходит сравнение значений выходных сигналов и выбор правильного значения по большинству. Такие схемы получили название мажоритарных (рисунок 3).

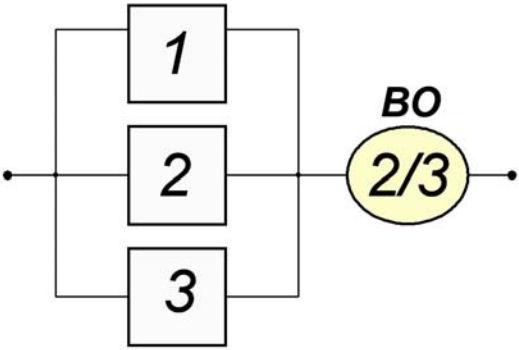

Рисунок 3 – Блок схема надежности мажоритарной структуры "2 *из* 3"

Предполагается, что в мажоритарных схемах присутствует специальное устройство, называемое восстанавливающим органом ***(ВО)***, который и осуществляет операцию выбора уровня «значения» выходного сигнала схемы. В общем случае ***ВО*** не обладает идеальной надежностью, что должно быть учтено при составлении выражений для вычисления показателей надежности. Так как отказ ***ВО*** сразу приводит к отказу всей схемы, то вероятность безотказной работы определяется как произведение вероятностей безотказной работы параллельного соединения “2 из 3” и восстанавливающего органа:

$$P(t) = P_{2/3}(t) \cdot P_{BO}(t), \qquad (3)$$

где

$$P_{2/3}(t) = p^3 + 3p^2 q = 3p^2 - 2p^3. \qquad (4)$$

Пусть $P_{BO}(t)=1$, тогда для экспоненциального закона распределения:

$$P(t)=3e^{-2\lambda t}-2e^{-3\lambda t};\ T=\frac{5}{6}\lambda. \qquad (5)$$

Как видно из времени средней наработки до отказа (5), надежность мажоритарной схемы "$2\ из\ 3$" оказалась хуже одного не резервированного элемента. Таким образом, применение мажоритарных структур "$2\ из\ 3$" *без восстановления* целесообразно лишь с точки зрения повышения достоверности выходной информации на коротких интервалах времени.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторная работа по изучению мажоритарных методов резервирования проводится на стенде, структурная схема которого представлена на рисунке 4. Стенд состоит из шести измерителей и одного восстанавливающего устройства. Систему можно конфигурировать по схемам *«**n** из **m**»,* где ***n*** принимает значения от 2 до 5, а ***m*** от 3 до 6, при выполнении условия ***m>n***.

Представленная на рисунке 4 схема выполнена на основе микроконтроллера atmega32 с использованием встроенного АЦП *(во втором варианте стенда устройства индикации и выбора режимов выведены на экран ПК)*. Регулировка делителей напряжения опорного источника выведена на лицевую панель стенда, там же размещены ЖК экран, переключатель режимов голосования и измерения, а также выводы для подключения осциллографа. Внешний вид стенда и пояснения к органам управления и индикации представлены на рисунке 5. Стенд позволяет кроме мажоритарного резервирования переходить в режим усреднения измеренных результатов по шести каналам одновременно, что позволяет проводить сравнение двух методов увеличения достоверности измерения.

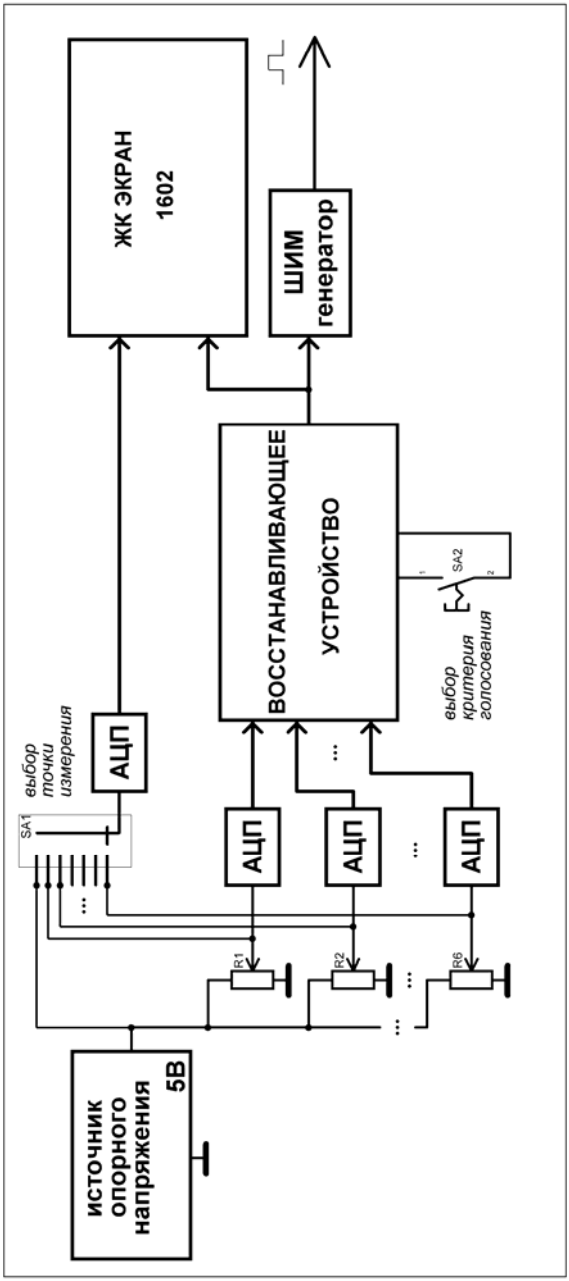

Рисунок 4 – Структурная схема лабораторного стенда исследования мажоритарного метода резервирования

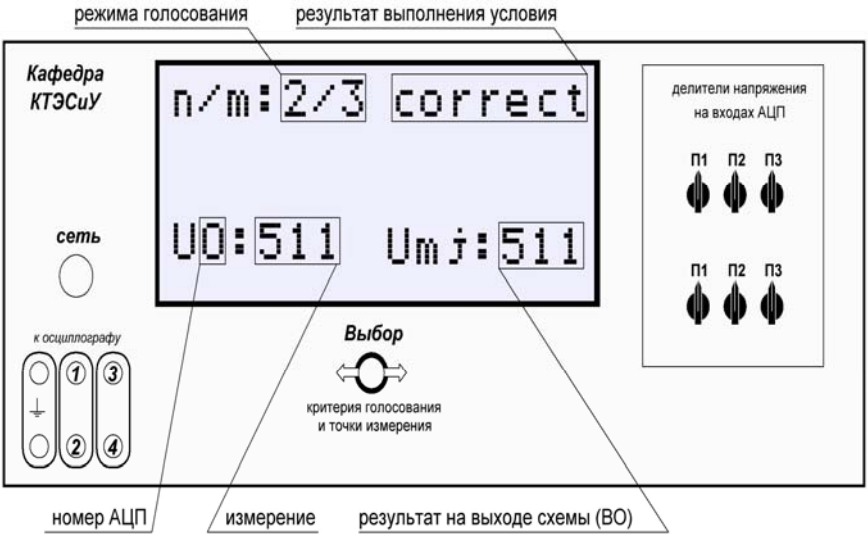

Рисунок 5 – Внешний вид лабораторного стенда по изучению мажоритарного метода резервирования

На разъемы 1-4 выведены сигналы с ШИМ генератора, скважность которого зависит от значения измерений шести каналов АЦП. К данным разъемам можно подключить осциллограф для дополнительного контроля измеряемых параметров. При переводе стенда в режим измерения с усреднением по шести каналам на экране вместо ***n/m:*** будет отображаться ***mean***, а вместо ***Umj:*** будет ***Um:*** где будет выводиться результат усреднения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить принципы мажоритарного резервирования.

2. По структурной схеме (рис. 4) разобраться с принципом работы лабораторного стенда и его основных блоков.

3. Предложить вариант реализации восстанавливающего устройства для схемы мажоритарного резервирования по типу: ***2 из 3*** (рис. 3), для простоты принять разрядность АЦП, равную ***3***.

4. Получить допуск у преподавателя, включить стенд, проверить работоспособность органов управления и индикации.

5. Произвести настройку делителей напряжения (П1-П6) таким образом, чтобы на выходе восстанавливающего устройства появился достоверный результат (удовлетворяющий текущим условиям голосования – *correct на LCD*). Повторить данное действие для всех режимов голосования. Для каждого из них рассчитать надежность схемы, если принять вероятности безотказной работы АЦП и восстанавливающего устройства, равные 0,8 и 0,99 соответственно.

6. Составить таблицы истинности для одного разряда восстанавливающего устройства по всем вариантам голосования.

7. Построить поверхность по теоретическим данным, отражающую зависимость надежности мажоритарной системы в зависимости от ***n и m***, при абсолютно надежном восстанавливающем устройстве, отметить на данном графике точки, полученные в пункте 5, сравнить результаты.

8. Объяснить явление «конкурирования», которое может возникать в мажоритарных системах, и предложить метод борьбы с ним.

9. Произвести оценку надежности системы измерения при реализации метода усреднения по шести каналам, если допустимая погрешность измерения не должна превышать 10%. Сравнить с мажоритарной системой.

10. Представить отчет на проверку преподавателю. Ответить на вопросы по теме.

Отчет должен быть представлен в печатной форме и должен содержать: название дисциплины; название лабораторной работы; теоретическое описание рассмотренных методов резервирования;

описание исследуемой системы; теоретические расчеты надежностей системы в разных режимах работы; графики теоретических и экспериментальных результатов; выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое мажоритарный метод резервирования, где и зачем он применяется, какие у данного метода достоинства и недостатки?

2. Какую функцию выполняет восстанавливающее устройство в мажоритарных системах, какими характеристиками оно должно обладать?

3. Как рассчитать среднее время безотказной работы мажоритарной системы типа: *«**2 из 5**», «**3 из 5**», «**4 из 5**»?*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленский В.А. Основы конструкторско-технологического проектирования радиоэлектронных средств: учебное пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2016. 80 с.

2. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем: учебное пособие. Москва, 2013. 219 с.

3. Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. Москва: Радио и связь, 1984. 176 с.