

УДК 004.3

**СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ
ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ****¹Сыцевич Н.Ф., ²Крахмалев Д.В., ¹Жабоев Ж.Ж., ¹Кулиев Р.С.**¹*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик;*²*Финансовый университет при правительстве РФ, Москва, e-mail: kuliye@mail.ru*

Материалы исследования, приводимые в настоящей работе, посвящены повышению надежности систем управления, в частности их аппаратных средств, выполненных по схеме с горячим резервированием. Особый акцент авторами сделан на применении узких интерфейсов при обмене сигналами между резервированными комплектами. Как правило, на практике широко распространены резервированные системы, в которых сигналы широких интерфейсов непосредственно подаются на мажоритарные элементы комплектов. При этом, добиваясь приемлемого быстродействия системы, увеличивается сложность аппаратных средств системы комплексирования резервированной системы. Сложность заключается в том, что при работе системы, как правило, часть ее функциональных частей должна функционировать в различных режимах резервирования, таких как повторительный, дублированный, мажоритарный. Это значительно усложняет управление мажоритарными элементами. В работе предложено введение механизма мультиплексирования сигналов межкомплектного обмена резервированной системы, что значительно упростит работу системы комплексирования. Целью проводимого исследования является повышение надежности систем управления, в которых не предъявляются высокие требования по быстродействию. Для достижения поставленной цели решается задача синтеза схемы резервированного комплекта, позволяющая снизить аппаратные затраты системы комплексирования мажоритарно-резервированных систем.

Ключевые слова: мультиплексирование, резервированные системы, мажоритарный элемент**COMPLEXING SCHEME BASED ON MULTIPLEXING
FOR RESERVED CONTROL SYSTEMS****¹Sytsevich N.F., ²Krakhmalev D.V., ¹Zhaboev Zh.Zh., ¹Kuliev R.S.**¹*Kabardino-Balkarian State University of Kh.M. Berbekov, Nalchik;*²*Financial University under the government of the Russian Federation, Moscow, e-mail: kuliye@mail.ru*

The materials of the study presented in this paper are devoted to improving the reliability of control systems, in particular their hardware made according to the scheme with hot backup. Special emphasis is placed on the use of narrow interfaces in the exchange of signals between redundant sets. As a rule, in practice, redundant systems are widespread, in which signals of wide interfaces are directly fed to the majority elements of sets. At the same time, achieving an acceptable system performance, the complexity of the hardware of the redundant system integration system increases. The difficulty lies in the fact that the system as a rule, part of its functional parts must operate in different backup modes, such as repeated, duplicated, majority. This greatly complicates the management of majority elements. The paper proposes the introduction of a mechanism for multiplexing the signals of the intercomplex exchange of the redundant system, which will greatly simplify the operation of the complexing system. The aim of the study is to improve the reliability of control systems that do not have high performance requirements. To achieve this goal, the problem of synthesis of the redundant set scheme is solved, which allows to reduce the hardware costs of the system of integration of majority-redundant systems.

Keywords: the Multiplexing, redundant systems, the majority element

Одним из основных недостатков резервированных систем управления является сложность системы комплексирования ее резервированных функциональных частей.

Как правило, на практике широко распространены резервированные системы, в которых сигналы широких интерфейсов непосредственно подаются на мажоритарные элементы комплектов. При этом, добиваясь приемлемого быстродействия системы, увеличивается сложность аппаратных средств, особенно системы комплексирования резервированной системы. В ходе исследования авторами предложено введение механизма мультиплексирования сигналов межкомплектного обмена резервированной системы, что значительно упростит работу системы комплексирования.

Целью проводимого исследования является повышение надежности резервированных систем управления с горячим резервированием аппаратных средств, не обладающих повышенным быстродействием. Для достижения поставленной цели решается задача применения мультиплексирования сигналов на входе мажоритарных элементов (в дальнейшем – МЭ) с последующим демultipлексированием сигналов на выходе последних. Цель достигается в том числе за счет упрощения системы комплексирования функциональных частей системы, которые должны функционировать в различных режимах резервирования, таких как повторительный, дублированный, мажоритарный.

Особенности структурной организации резервированных систем управления, рабо-

тающих в мажоритарном, дублированном и повторительном режимах и использующих в своем составе аппаратные средства функциональных частей, выполненных по схеме с горячим резервированием, представлены в ряде публикаций [1–3].

Модели и методы расчета надежности технических систем, в том числе резервированных, подробно представлены в публикациях [4, 5]. На практике, как правило в системах управления, работающих в реальном масштабе времени, с применением горячего резервирования, часто отдают предпочтение резервированным системам с дублированием аппаратных средств [3].

В работе [1] было показано, что повышение живучести мажоритарно-резервированной системы обеспечивается тем, что резервируются сигналы системных магистралей комплектов, как правило построенных по трехшинной структуре – шина адреса, шина данных, шина управляющих сигналов. В качестве примера может служить структура, приведенная в [1], изображенная на рис. 1.

На рис. 1 приведена система комплексов управления (ПУ) и контролируемых пунктов (КП) в основе построения которых применяются мажоритарно-резер-

вированные комплекты. Обмен информацией между комплектами осуществляется по межкомплектным связям, использующим в качестве среды передачи сигналов – физические проводные линии связи. Каждый из резервированных комплектов передает свои сигналы соседним комплектам (свой левому и свой правому) и принимает сигналы от соседних комплектов (от левого своему и от правого своему), которые поступают на входы мажоритарных элементов для дальнейшего формирования сигналов управления резервированных интерфейсов.

В работе [1] синтезирована функциональная схема управляемого мажоритарного элемента, а также представлена структурная схема резервируемого комплекта, изображенная на рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

1) МИ – магистраль интерфейса резервированного комплекта;

2) З – задатчик магистрали интерфейса МИ, включающий в себя, как правило, процессор, схему системы комплексов резервированных комплектов и управления межкомплектными связями, мажоритарные элементы, схемы формирования сигналов магистрали интерфейса;

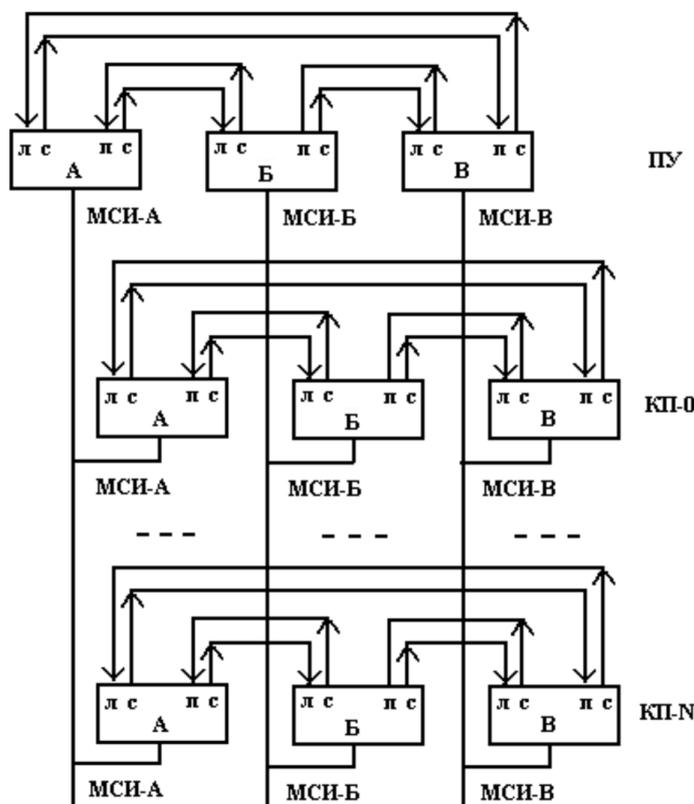


Рис. 1. Система комплексов управления ПУ-КП

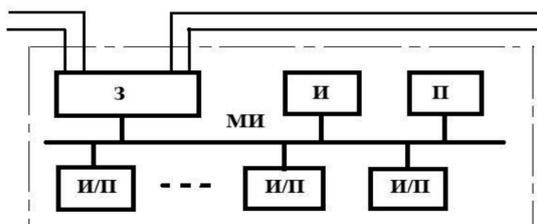


Рис. 2. Структурная схема комплекта

3) И, П, И/П – функциональные модули источники, приемники и комбинированные модули – источники/приемники данных по отношению к магистрали интерфейса резервированного комплекта.

Синтез схемы резервированного комплекта

Одним из основных недостатков мажоритарно-резервированных магистрално-модульных систем является аппаратная избыточность, обусловленная сложной схемой МЭ и наличием большого количества этих схем.

Решения, предложенные в [1], могут быть использованы при построении резервированных магистрално-модульных систем, в которых предъявляются высокие требования к повышенному быстродействию. При этом возрастает и громоздкость аппаратуры при построении таких систем, вызванная в том числе и наличием большого числа межкомплектных связей.

В том же случае, когда от системы не требуется высокого быстродействия, можно уменьшить аппаратные затраты на резервирование аппаратуры в части уменьшения количества МЭ, а значит, и упрощения межкомплектных связей за счет введения мультиплексирования сигналов на входах МЭ и демультимплексирования сигналов на выходах МЭ. Таким образом, можно перейти от резервирования сигналов широких интерфейсов с большим количеством сигнальных линий, подлежащих резервированию, к резервированию сигналов узких интерфейсов с малым количеством сигнальных линий.

В результате выполнения работы синтезирована схема резервированного комплекта для случая мажоритарного резервирования «2 из 3», представленная на рис. 3.

На схеме (рис. 3) приняты следующие обозначения:

- 1) ЗМЛ – задатчик магистрали локальный, включающий в себя, как правило, процессор, схему системы комплексирования резервированных комплектов и схему управления межкомплектными связями;
- 2) МЛИК – магистраль локального интерфейса комплекта;

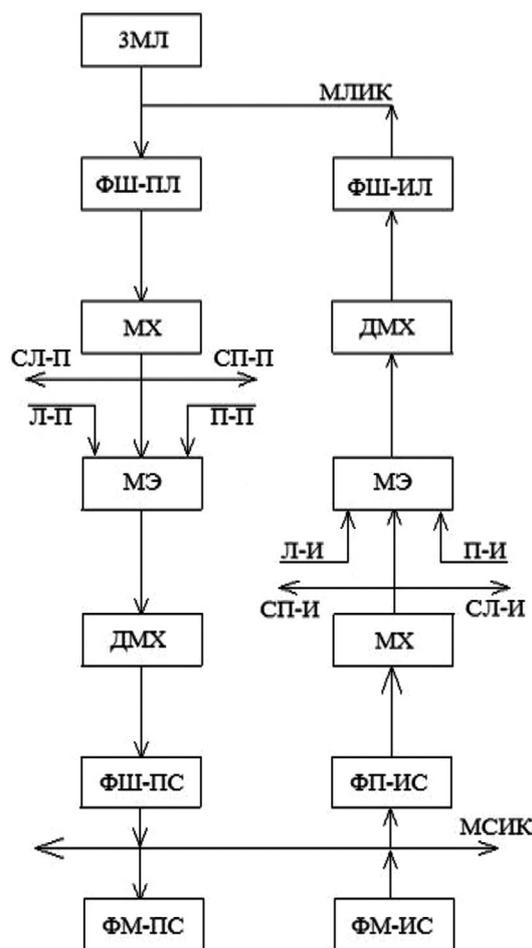


Рис. 3. Схема резервированного комплекта

- 3) ФШ-ПЛ, ФШ-ИЛ – формирователи шинные сигналов приемника и источника локального соответственно;
- 4) МХ – мультиплексоры сигналов на входах МЭ;
- 5) ДМХ – демультимплексоры сигналов на выходах МЭ;
- 6) ФШ-ПС, ФШ-ИС – формирователи шинные сигналов приемника и источника системного соответственно;
- 7) ФМ-ПС, ФМ-ИС – функциональные модули приемника и источника системного соответственно;
- 8) СЛ-П, СП-П, СЛ-И, СП-И – сигналы приемника и источника своего комплекта, передаваемые/принимаемые правому и левому комплекту соответственно;
- 9) Л-П, Л-И, П-П, П-И – сигналы приемника и источника от левого и правого комплекта, принимаемые своим комплектом;
- 10) МСИК – магистраль системного интерфейса комплекта.

Сигналы на входы МЭ подаются последовательно во времени с выхода МХ своего

комплекта. В то же время одновременно из соседних комплектов подаются сигналы, одноименные с сигналами своего комплекта. Сигналы, подлежащие мажоритированию на МЭ, поступают от задатчика или от функциональных модулей комплекта.

Основное отличие в системах резервирования магистрально-модульных систем, рассмотренных в [1] и в настоящей статье – в интерфейсах, сигналы которых подлежат голосованию на МЭ. В [1] рассмотрены вопросы мажоритарного резервирования сигналов широких интерфейсов, в настоящей статье – вопросы мажоритарного резервирования сигналов узких интерфейсов.

Основное различие заключается в том, что в первом случае мажоритирование сигналов осуществляется параллельно всех разрядов или локальных групп разрядов во времени, а во втором случае – последовательно всех разрядов или локальных групп разрядов во времени, что приводит к существенному сокращению числа мажоритарных элементов комплектов, работающих в различных режимах резервирования в мажоритарно-резервированных системах в режимах повторительном (1002, 1003), дублированном (2002), мажоритарном (2003).

Временные диаграммы работы схемы резервированного комплекта приведены на рис. 4.

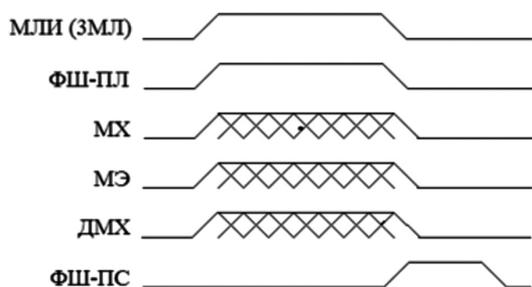


Рис. 4. Временные диаграммы работы схемы резервированного комплекта

Из временных диаграмм работы схемы резервирования комплекта, представленного на рис. 4, видно, что благодаря введению временного мультиплексирования сигналов на передающей стороне и демультиплексирования сигналов на приемной стороне, возможно использование одного мажоритарного элемента для получения мажоритарно-резервированных сигналов, при этом мажоритирование сигналов осуществляется последовательно разряд за разрядом, а с выхода мажоритарных элементов сигналы демультиплексируются и получается параллельный код на выходе системы комплек-

сирования резервированного комплекта. Количество шагов преобразования будет равно количеству разрядов, подлежащих резервированию. При этом существенно уменьшаются аппаратные затраты и упрощается схема межкомплектных связей резервированных комплектов.

Узкие интерфейсы характеризуются, в частности, простотой схемы межкомплектных связей, а значит, и простотой системы комплексирования. Это упрощает работу мажоритарно-резервированной системы, построенной по схеме резервирования «2 из 3», в частности возможность простой реализации межкомплектных связей, использующих, например, беспроводные каналы связи, в том числе радиоканал, оптический канал. В работе показан пример передачи данных между резервированными комплектами с использованием одного канала связи между ними.

При необходимости повышения быстродействия системы число каналов связи между комплектами может быть увеличено, например, до трех в случае, если для передачи адреса, данных и сигналов управления широких интерфейсов использовать отдельные каналы. Аппаратные затраты системы комплексирования резервированных комплектов при этом вырастут, в том числе и за счет усложнения схемы системы синхронизации работы комплектов.

Вопросы синхронизации работы различных комплектов подробно рассмотрены в работах [6, 7] и не рассматриваются в данной публикации с одной целью – упростить изложение и обеспечить доходчивость материала.

Использование мультиплексирования с последующим демультиплексированием сигналов, подлежащих резервированию, позволяет упростить систему комплексирования резервированных комплектов, а также осуществлять резервирование комплектов в распределенных системах управления, в том числе когда резервированные комплекты находятся на значительных и различных расстояниях друг от друга, в том числе размещенных на подвижных объектах.

Выводы

В работе показано, что введение мультиплексирования в мажоритарно-резервированные системы позволит значительно упростить систему комплексирования резервированных комплектов при схеме резервирования «2 из 3» в режимах работы 1001, 1002, 1003, 2002, 2003, что в свою очередь позволит использовать в качестве межкомплектных связей беспроводные каналы связи, в том числе оптический и радиоканал, а значит, повысить живучесть систем

управления работающих в реальном масштабе времени в различных режимах резервирования: в режимах повторительном или нерезервируемом (1001, 1002, 1003), дублированном (2002), мажоритарном или резервируемом (2003).

Список литературы

1. Ксенофонов А.С., Сыщевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Сыщевич С.Н. Повышение живучести мажоритарно-резервированных систем управления // Известия КБНЦ РАН. 2015. Том II. № 6 (68). С. 100–104.
2. Игнатущенко В.В. Организация структур управляющих многопроцессорных вычислительных систем. М.: Энергоатомиздат, 1984. 184 с.
3. Анищенко В.А., Мысло Е.Л., Иванова А.Н. Надежность дублированных технических систем с устройствами встроенного контроля // Энергетика. 2013. № 5. С. 5–10.
4. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: ЛЕНАНД, 2014. 256 с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности, изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 582 с.
6. Сыщевич Н.Ф., Кулиев Р.С., Москаленко Л.А., Моллов М.З. Синхронизация работы мажоритарных элементов резервированных комплектов систем управления // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 8 (2). С. 261–264.
7. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. М., 2003. 272 с.