

УДК 520.6.05

© Д. В. Лисин, 2024

## МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ ОСНОВНОГО И РЕЗЕРВНОГО КОМПЛЕКТОВ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

Рассмотрен разработанный в ИЗМИРАН один из неклассических методов объединения основного и резервного комплектов аппаратуры управления на борту космического аппарата, который обеспечивает возможность как автономного, так и управляемого дополнительной внешней системой ввода резервного комплекта. Главная особенность метода — возможность непосредственного электрического соединения цепей основного и резервного комплектов аппаратуры управления, т.е. отсутствие механической и электронной коммутации при сохранении достаточно высокого уровня надежности системы в целом. Предложенный подход имеет основную область применения в создании высоконадежной аппаратуры управления научного и специального назначения с нестандартными интерфейсами для работы в условиях космического пространства.

*Кл. сл.:* космический эксперимент, резерв, ввод резервного комплекта

### ВВЕДЕНИЕ

В ходе реализации нескольких крупных проектов по созданию комплексов аппаратуры для проведения научных экспериментов на борту космических аппаратов в ИЗМИРАН был накоплен значительный опыт в части конструирования и эксплуатации систем управления подобными комплексами. В силу существенной специфики функционирования научных приборов в условиях космического пространства особую роль начинают играть вопросы гибкости системы управления экспериментами, а также ее надежности. Например, в орбитальной солнечной обсерватории КОРОНАС-Ф [1–3] комплекс научной аппаратуры насчитывал 13 экспериментов, каждый из которых в свою очередь представлял собой уникальный комплекс аппаратуры, предъявляющий достаточно специфические требования к телеметрии и управлению.

Применение стандартных технических решений, например, в части протоколов информационного обмена, существенно снизило бы научно-технический потенциал ряда экспериментов. По этой причине вопросы разработки нестандартных систем управления будут сохранять актуальность и в будущем, особенно в нынешних непростых условиях импортозамещения электронной компонентной базы аппаратуры научного и специального назначения.

Данная статья обобщает и систематизирует опыт построения систем телеметрии и управления космическими экспериментами в части вопроса

организации их резервирования. Как правило, подобные системы дублируются в случае автоматических комплексов и утраиваются в случае пилотируемых. Дублирование системы телеметрии и управления требует определенности в ответах на следующие два ключевых вопроса:

1) как надежно организовать перекоммутацию электрических цепей, соединяющих систему управления с комплексом аппаратуры?

2) кто и как будет выдавать команду на переключение основного и резервных комплектов аппаратуры системы управления?

Классический ответ на первый вопрос заключается в построении некоего коммутатора портов, управление которым должно осуществляться в соответствии с политикой, определенной ответом на второй вопрос. Однако при наличии большого количества электрических цепей, образующих интерфейсы телеметрии и управления сложным комплексом аппаратуры, подобный коммутатор становится достаточно громоздким, что приводит к существенному снижению его надежности и значительным затратам дефицитного бюджета массогабаритных параметров, характерного для применения на борту космических аппаратов.

Суть развиваемого в ИЗМИРАН подхода к организации резервирования системы управления комплексом научной аппаратуры заключается в полном отказе от какого-либо коммутатора электрических сигналов телеметрии и управления, параллельном соединении этих цепей посредством кабельной системы космического аппарата и управ-

лении вводом резерва переключением электропитания основного и резервного комплектов системы управления. В данной статье освещается проблематика реализации данного подхода в части указанного выше первого ключевого вопроса.

### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

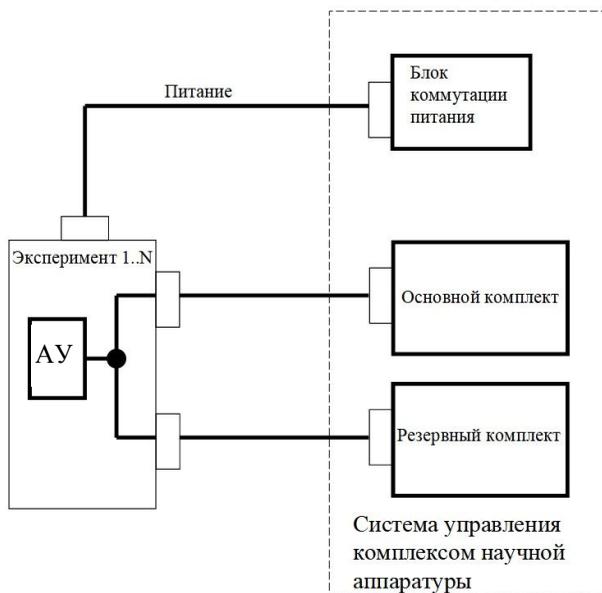
Типичная схема организации управления комплексом научной аппаратуры (КНА) на борту космического аппарата выглядит следующим образом. Приборы КНА подключаются к системе управления (СУ), от которой получают электропитание (или команды на подключение электропитания) и с которой обмениваются телеметрией и научной информацией, включая команды управления экспериментами. Система управления может иметь в своем составе собственную командную радиолинию, по которой идет информационный обмен с наземным пунктом управления научными экспериментами. Управление платформой космического аппарата при этом, как правило, ведется отдельной системой управления с собственной радиолинией. Между обеими системами управления целесообразна организация командно-телеметрических связей, что на практике часто и делается для повышения надежности системы в целом.

При рассмотрении вопросов надежности подобной системы следует отметить, что положения отдельного прибора КНА и системы управления существенно отличаются. Отказ отдельного эксперимента, как правило, не приводит к полному провалу целевой задачи космического аппарата, в то время как отказ СУ будет иметь фатальные по-

следствия. По этой причине подходы к резервированию аппаратуры приборов КНА и системы управления существенно отличаются. С точки зрения принятого в ИЗМИРАН подхода, целесообразнее резервировать эксперименты целиком, при наличии подобной возможности. В таком случае, к примеру, вместо одного прибора КНА "X" появляются два идентичных комплекта аппаратуры "X-1" и "X-2", подключаемые к отдельным каналам телеметрии и управления. Данная схема имеет ряд преимуществ перед классической схемой тотального дублирования элементов, проводов и контактов в разъемах кабельных соединений в приборах КНА, т.к. существенно упрощается разработка, конструкция, массогабаритные характеристики приборов и кабелей КНА, что автоматически повышает надежность аппаратуры и снижает стоимость и сроки разработки. Изготовить же два идентичных блока намного проще, технологичней, быстрее и дешевле, чем один более сложный и громоздкий.

Применение подобного подхода к разработке системы управления КНА наталкивается на проблему коммутации электрических цепей, образующих интерфейсы передачи команд, телеметрии и сбора целевой информации с приборов. При этом следует понимать, что далеко не всегда целесообразно заталкивать экспериментальные комплексы аппаратуры в прокрустово ложе стандартных решений в части интерфейсов телеметрии и управления, и, таким образом, применение нестандартных интерфейсов в ряде случаев будет неизбежно сохранять актуальность и в будущем.

Суть развиваемого в ИЗМИРАН подхода к решению этой проблемы изображена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема резервирования системы управления экспериментальным комплексом. АУ — аппаратура управления экспериментом

Система управления комплексом научной аппаратуры физически состоит из трех блоков — два полностью идентичных блока управления и один блок коммутации питания, который в данной статье не обсуждается. Логика подачи питания построена так, что питание может быть подано только на один из блоков управления — либо на основной, либо на резервный. При подаче питания от платформы космического аппарата по умолчанию включается основной блок системы управления. Логика и схемотехника работы цепей начальной подачи питания крайне важна, но она в данной статье не рассматривается. В комплексе научной аппаратуры орбитальной солнечной обсерватории "КОРОНАС-Ф", к примеру, в каждом комплекте системы управления имелось высоконадежное поляризованное реле, подключающее блок к шине питания платформы космического аппарата, импульсную команду на подключение которого выдавала отдельная система управления платформой аппарата по собственной командной радиолинии.

На блоке системы управления имеется отдельный соединитель для каждого прибора КНА, который подключается к нему отдельным кабелем. И соединитель, и кабель могут не иметь дублирования по контактам и жилам кабеля, т.к. дублирование этих цепей осуществляется на системном уровне наличием двух отдельных интерфейсов — соединителей и кабелей на эксперимент. В то же время ничто не мешает произвести это дополнительное дублирование при наличии технической возможности, что, безусловно, несколько повысит гибкость системы в случае возможных отказов.

На приборе КНА — блоке управления экспериментом устанавливаются два идентичных соединителя, контакты которых соединяются параллельно внутри прибора. Таким образом, интерфейс будет работать независимо от того, какой из блоков системы управления, основной либо резервный, активен в данный момент времени. На рис. 1 изображена структурная схема соединений для случая, когда резервирование прибора КНА либо не производится, либо производится его полное дублирование на системном уровне, описанное выше. При необходимости, в случае отсутствия возможности системного дублирования эксперимента, в нем может быть установлен классический коммутатор портов для увеличения гибкости, что никак не сказывается на конструкции системы управления.

#### **СХЕМОТЕХНИКА ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ КАСКАДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

Основная проблема простого параллельного соединения электрических цепей основного и ре-

зервного комплектов аппаратуры — взаимное влияние включенного и выключенного комплектов.

Схемотехника современных интегральных микросхем построена таким образом, что они не допускают подачи входных сигналов при выключенном питании микросхемы. Таким образом, электрические сигналы активного комплекта аппаратуры будут нарушать требования технических условий на элементы резервного. В основном это связано с наличием во входных цепях КМОП-микросхем защитных диодов, подключенных к шинам питания микросхемы, предназначенных для ее защиты от статического электричества и прочих перенапряжений по входу, к чему технология КМОП чрезвычайно чувствительна. При отсутствии напряжения питания входной сигнал, подаваемый на микросхему, будет приводить к протеканию значительного тока через эти диоды, что может привести к их повреждению, а также паразитному включению номинально выключенной схемы, если таких сигналов будет достаточно много.

Соединять выходные сигналы логических элементов также по очевидным причинам недопустимо, однако при применении ТТЛШ-каскадов с третьим состоянием, как это показано на рис. 2, это можно осуществить. На рисунке показана схема передачи логического сигнала интерфейса от системы управления к прибору КНА. Выходы буферных логических элементов соединяются параллельно за счет схемы организации соединений в приборе КНА через резисторы R1 (рис. 2), которые выполняют функции как некоторого согласования волнового сопротивления с кабельной линией, так и функции страховки от возможных сверхтоков при коротком замыкании цепей включенной аппаратуры, что в процессе стыковочных испытаний на практике не исключено.

Входной каскад прибора КНА практически не имеет особенностей — в нем может быть применен стандартный КМОП-элемент с защитными диодами во входных цепях. Резистор R2 выполняет обязательное требование серии КМОП об исключении открытого состояния входа (например, при отключенном соединителе и подаче питания на прибор), резистор R3 — токоограничивающий для защитных диодов. В случае работы интерфейса при выключенном питании прибора КНА он должен ограничить паразитный ток через эти диоды на безопасном уровне. В данном случае весьма важен порядок включения этих резисторов, чтобы не происходило паразитного деления напряжения входного сигнала, то есть резистор подтяжки потенциала R2 должен быть подключен к цепи до резистора R3.

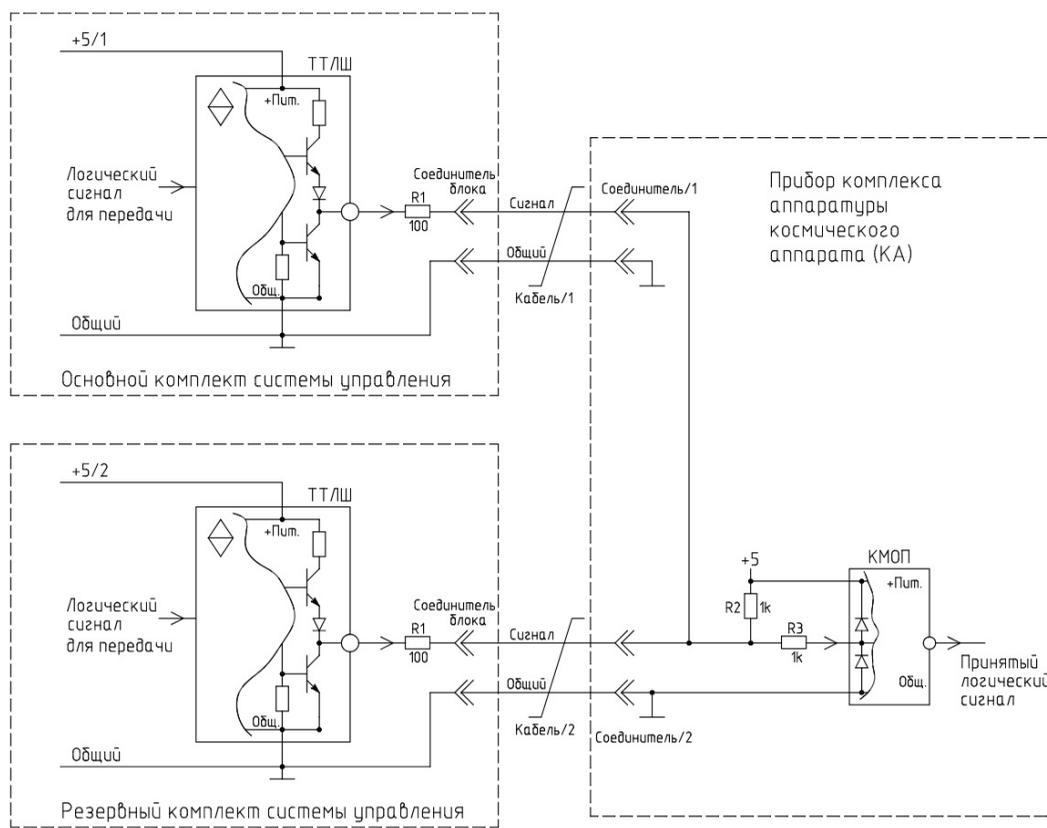


Рис. 2. Передача сигнала от системы управления к аппаратуре комплекса

Таким образом, показанная схема включения нормально работает во всех возможных случаях:

- при работе системы управления и выключенном питании прибора КНА за счет достаточно большого сопротивления резистора R3 входные цепи прибора не повреждаются и паразитного запитывания прибора не происходит;

- при работе любого из комплектов системы управления и включенном питании прибора КНА выключенный комплект СУ не оказывает влияния на работу цепи передачи сигнала вследствие того, что его выходной элемент находится в третьем состоянии даже в обесточенном режиме ввиду особенностей схемотехники ТТЛШ, показанной на рис. 2;

- при нештатном случае включения обоих комплектов системы управления сопротивления резисторов R1 будет достаточно, чтобы не допустить выхода из строя выходных каскадов СУ, которые начнут работать в режиме короткого замыкания.

Более сложная задача: сохранив параллельную схему соединения всех электрических цепей ин-

терфейсов, обеспечить прием логического сигнала активным комплектом системы управления так, чтобы выключенный комплект не мешал работе и не повреждался. Предлагаемая схема решения этой проблемы показана на рис. 3. Выходной каскад прибора КНА в данном случае также может быть обычным логическим вентилем технологии КМОП с последовательным резистором R1, выполняющим аналогичные функции согласования волнового сопротивления и страховки на случай замыкания цепи.

Во входной цепи системы управления установлены резисторы R2 (токоограничение для страховки входа) и R3 (подтяжка уровня к логическому нулю по умолчанию). Номиналы резисторов выбираются таким образом, чтобы не мешать нормальной работе интерфейса. В качестве входного буфера применяется, что принципиально, микросхема 561ЛН2, которая имеет входной каскад специального исполнения, не содержащий стандартных защитных диодов, подключенных к цепям питания микросхемы.

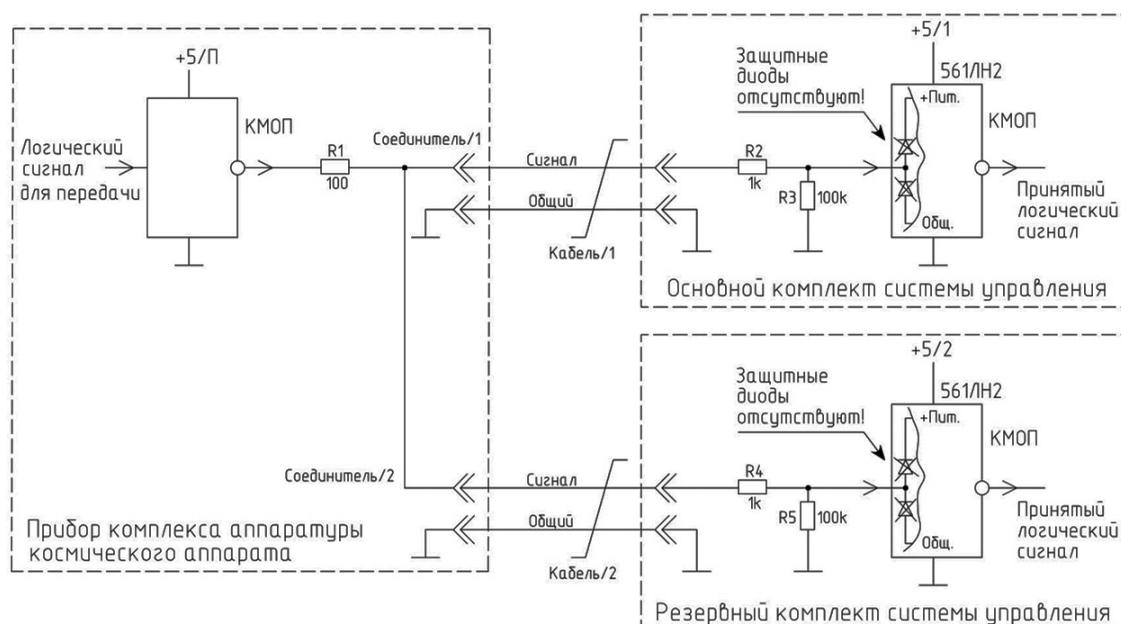


Рис. 3. Передача сигнала от прибора комплекса к системе управления

Данная особенность, прямо прописанная в ТУ на микросхему, позволяет подавать на ее входы напряжения, превышающие напряжение питания, т.е. в том числе подавать входные сигналы при полностью снятом питании блока.

Указанная серия микросхем, насколько известно автору, в настоящий момент продолжает выпускаться минским ПО "Интеграл", и, возможно, еще какими-то российскими предприятиями в рамках программы импортозамещения.

Таким образом, резервный комплект системы управления не оказывает заметного шунтирующего действия на работу цепей передачи логических сигналов от прибора комплекса к системе управления, допуская при этом даже одновременное функционирование обоих комплектов СУ в нештатных ситуациях.

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Описанная выше методика объединения комплектов системы управления комплексом позволяет реализовать различные виды интерфейсов информационного обмена с аппаратурой: синхронные, асинхронные, последовательные, параллельные, последовательно-параллельные и т.п. К недостаткам метода можно отнести наличие доста-

точно больших резисторов R2 во входных цепях системы управления (рис. 3), что не позволяет реализовать обмен на максимальных скоростях передачи данных вследствие затягивания фронтов импульсов на входной емкости логического элемента. Однако этот недостаток может быть в значительной мере нивелирован за счет гибкости типа интерфейса и аккуратного моделирования конкретной электрической схемы с оптимизацией параметров цепи.

Существенной особенностью метода является также принципиальный отказ от гальванической развязки электрических цепей приборов комплекса с организацией классической общей шины "логической земли" (безусловно, гальванически развязанной с корпусами аппаратуры). Данное решение позволяет значительно уменьшить массогабаритные характеристики комплекса аппаратуры и существенно повысить надежность его функционирования, т.к. практически единственное приемлемое решение в данном случае — оптрона — имеет значительные проблемы в условиях длительного воздействия ионизирующих излучений космического пространства. Опыт применения подобного, безусловно, во многом спорного подхода при создании в ИЗМИРАН ряда комплексов научной аппаратуры полностью подтвердил его состоятельность и правомерность.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренный подход к организации электрической схемы соединения основного и резервного комплектов системы управления не предполагает какого-либо конкретного протокола информационного обмена, который подбирается в зависимости от требований проекта, доступности элементной базы и возможностей разработчиков отдельных систем и узлов. Основное достоинство метода — максимальная гибкость системы управления к требованиям комплекса экспериментальной аппаратуры, что в реальных условиях зачастую способно обеспечить достижение уникальных результатов за счет концентрации компетенций разработчиков систем на целевых задачах, а не на особенностях реализации конкретных стандартных интерфейсов.

Предлагаемая схемотехническая методика успешно доказала свою состоятельность в ходе реализации многолетней программы космических экспериментов на орбитальной солнечной обсерватории "КОРОНАС-Ф" [1].

Область применения описанного подхода к резервированию систем управления — разработка экспериментальных образцов научной и специальной аппаратуры повышенной надежности преимущественно космического назначения в условиях импортозамещения электронной компонентной базы и предельно сжатых сроков введения в штатную эксплуатацию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов А.И., Лисин Д.В., Кузнецов В.Д., Афанасьев А.Н., Осин А.И., Шварц Й. Бортовой и наземный

комплексы управления научной аппаратурой спутника КОРОНАС-Ф // Солнечно-земная физика: результаты экспериментов на спутнике КОРОНАС-Ф / под ред. В.Д. Кузнецова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. С. 469–476. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28866900>

2. Кузнецов В.Д., Лисин Д.В. Возможности использования наземного комплекса управления и приема телеметрической информации ИЗМИРАН для организации дублирующих каналов связи со спутниками геофизического мониторинга Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 4. С. 232–234. URL: <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=806>

3. Stepanov A.I., Lisin D.V., Kuznetsov V.D., Afanas'ev A.N., Osin A.I., Schwarz J. On-board and ground-based complexes for operating the science payload of the CORONAS-F Space Mission // The Coronas-F Space Mission / ed. V.D. Kuznetsov. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014. P. 457–464.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, г. Троицк*

Контакты: Лисин Дмитрий Валерьевич,  
lisindv@izmiran.ru

Материал поступил в редакцию 26.01.2024

## THE METHOD FOR COMBINING THE MAIN AND BACKUP SETS OF SPACE EXPERIMENT CONTROL EQUIPMENT

D. V. Lisin

*Pushkov Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation (IZMIRAN),  
Troitsk, Moscow, Russia*

One of the non-classical methods, developed in IZMIRAN, for combining the main and backup sets of control equipment on board the spacecraft is considered. The method provides the possibility of introducing a backup set, both autonomously and controlled by an additional external system. The main feature of the method is the possibility of direct electrical connection of the circuits of the main and backup sets of control equipment, i.e., a lack of mechanical and electronic switching while maintaining a sufficiently high level of reliability for the system as a whole. The proposed approach has a main area of application in the creation of highly reliable control equipment for scientific and special purposes with non-standard interfaces for operation in outer space.

*Keywords:* space experiment, backup set

### REFERENCES

1. Stepanov A.I., Lisin D.V., Kuznetsov V.D., Afanas'ev A.N., Osin A.I., Schwarz J. [Onboard and ground control complexes of scientific equipment of the CORONAS-F satellite]. Kuznetsov V.D., editor. *Solnechno-zemnaya fizika: rezul'taty ehksperimentov na sputnike KORONAS-F* [Solar-terrestrial physics: results of experiments on the CORONAS-F satellite], Moscow, FIZMATLIT Publ., 2009, pp. 469–476. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28866900> (In Russ.).
2. Kuznetsov V.D., Lisin D.V. [Possibilities of usage of IZMIRAN ground station for telemetry and control of geophysical monitoring satellites]. *Sovremennye problemy*
3. Stepanov A.I., Lisin D.V., Kuznetsov V.D., Afanas'ev A.N., Osin A.I., Schwarz J. On-board and ground-based complexes for operating the science payload of the CORONAS-F Space Mission. Kuznetsov V.D., editor. *The Coronas-F Space Mission*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 457–464. DOI: 10.1007/978-3-642-39268-9\_18

Contacts: *Lisin Dmitrij Valer'evich*,  
[lisindv@izmiran.ru](mailto:lisindv@izmiran.ru)

Article received by the editorial office on 26.01.2024

## INTRODUCTION

During the implementation of several large projects to create equipment complexes for conducting scientific experiments on board spacecraft, IZMIRAN accumulated significant experience in the creation and operation of control systems for such complexes. Due to the significant specificity of the functioning of scientific instruments in outer space, issues of the flexibility of the experiment control system, as well as its reliability, play a special role. For example, in the orbital solar observatory CORONAS-F [1–3], the complex of scientific equipment combined instruments for 13 experiments, each of which in turn represented a unique set of equipment that imposed rather specific requirements for telemetry and control.

The use of standard technical solutions, for example, regarding information exchange protocols, would significantly reduce the scientific and technical potential of a number of experiments. For this reason, the issues of developing non-standard control systems will remain relevant in the future, especially in the current conditions of import substitution of the electronic component base of scientific and special-purpose equipment.

This article generalizes and systematizes the experience of building telemetry systems and controlling space experiments in terms of organizing their redundancy. As a rule, such systems are duplicated in the case of automatic complexes and tripled in the case of manned ones. Duplication of telemetry and control system requires certainty in answers to the following two key questions:

- 1) how to reliably organize the reconnection of electrical circuits connecting the control system to the equipment complex?
- 2) who and how will issue the command to switch the main and backup sets of control system equipment?

The classic answer to the first question is to build some kind of port switch, which should be managed in accordance with the policy defined by the answer to the second question. However, in the presence of a large number of electrical circuits that form interfaces for telemetry and control of a complex set of equipment, such a switch becomes quite cumbersome, which leads to a significant reduction in its reliability and significant costs of the deficit budget of mass and size parameters, typical for use on board spacecraft.

The essence of the approach being developed at IZMIRAN for arrangement of a redundant control system for a complex of scientific equipment is the complete rejection of any switch of electrical telemetry and control signals, parallel connection of these circuits through the cable system of the spacecraft, and control of the input of the reserve by switching the power supply of the main and reserve sets of the

control system. This article highlights the problems of implementing this approach in relation to the first key issue mentioned above.

## BLOCK CHART OF RESERVATION ORGANIZATION

A typical scheme for organizing the control of a complex of scientific equipment (CSE) on board a spacecraft is as follows. CSE instruments are connected to a control system (CS), from which they receive power (or commands to connect power) and with which they exchange telemetry and scientific information, including experiment control commands. The control system may have its own command radio line, through which information exchange occurs with the ground control point for scientific experiments. The spacecraft platform is controlled, as a rule, by a separate control system with its own radio link. It is reasonable to organize command-telemetric connections between both control systems, which in practice is often done to increase the reliability of the system as a whole.

When considering the reliability of such a system, it should be noted that the roles of an individual CSE device and the control system are significantly different. The failure of an individual experiment, as a rule, does not lead to a complete failure of the target mission of the spacecraft, while the failure of the CS will have fatal consequences. For this reason, the approaches to redundancy of equipment for CSE instruments and control systems are significantly different. From the point of view of the approach adopted at IZMIRAN, it is more expedient to reserve entire experiments if such a possibility exists. In this case, for example, instead of one CSE device "X", two identical sets of equipment "X-1" and "X-2" appear, connected to separate telemetry and control channels. This scheme has a number of advantages over the classical scheme of total duplication of elements, wires, and contacts in cable connectors in CSE devices, because the development, design, weight, and size characteristics of CSE devices and cables are significantly simplified, which automatically increases the reliability of the equipment and reduces the cost and development time. Making two identical blocks is much simpler, more technologically advanced, faster, and cheaper than making one more complex and bulky one.

The application of such an approach to the development of a CSE control system encounters the problem of switching electrical circuits that form interfaces for transmitting commands, telemetry, and withdrawal of target information from devices. It should be understood that it is not always advisable to push experimental equipment complexes into the Procrustean bed of standard solutions in terms of telemetry

and control interfaces, and thus the use of non-standard interfaces in some cases will inevitably remain relevant in the future.

The essence of the approach to solving this problem being developed at IZMIRAN is shown in Fig. 1.

**Fig. 1.** Block diagram of the control system backing the experimental complex.  
AY — experiment control equipment

The CSE control system physically consists of three blocks — two completely identical control blocks and one power switching block, which is not discussed in this article. The power supply logic is designed so that power can be supplied to only one of the control units — either the main one or the backup one. When power is supplied from the spacecraft platform, the main control system unit is turned on by default. The logic and circuit design of the initial power supply circuits is extremely important, but it is not discussed in this article. In the complex of scientific equipment of the orbital solar observatory "CORONAS-F", for example, in each set of the control system, there was a highly reliable polarized relay connecting the unit to the power bus of the spacecraft platform. The pulse command to connect the unit was issued by a separate platform control system via its own radio command line.

The control system unit has a separate connector for each CSE device, which is connected to it with a separate cable. Both the connector and the cable may not have duplication of contacts and cable cores, because duplication of these circuits is carried out at the system level by means of two separate interfaces — connectors and cables to the devices engaged in the experiment. However, nothing prevents this additional duplication from being carried out, if technically possible, to increase the flexibility of the system in the event of possible failures.

On the CSE unit, which is the experiment control device, two identical connectors are installed, the contacts of which are connected in parallel inside the device. Thus, the interface works regardless of which of the control system blocks, main or backup, is active at a given time. Fig. 1 shows a block diagram of connections for the case when the CSE unit is either not redundant or is completely duplicated at the system level, as described above. If there is no possibility of system duplication in the experiment, a classic port switch can be installed in it to increase flexibility, which does not affect the design of the control system in any way.

## CIRCUITRY ENGINEERING OF INPUT AND OUTPUT STAGES OF ELECTRICAL INTERFACES

The main problem with a simple parallel connection of the electrical circuits of the main and backup sets of equipment is the mutual influence of the switched on and off sets.

The circuitry of modern integrated microcircuits is designed in such a way that it does not allow input signals to be supplied when the power to the microcircuit is turned off. Thus, the electrical signals of the active set of equipment violate the requirements of the technical specifications for the backup elements. This is mainly due to the presence of protective diodes in the input circuits of CMOS microcircuits. The diodes are connected to the power buses of the microcircuit. The power buses are purposely designed to protect it from static electricity and other input overvoltages, to which CMOS technology is extremely sensitive. In the absence of supply voltage, the input signal supplied to the microcircuit results in the flow of significant current through these diodes, which can lead to their damage, as well as parasitic switching on of a nominally off circuit if there are a lot of such signals.

It is also unacceptable to connect the output signals of logic elements for obvious reasons, however, when using Schottky TTL stages with the third state, as shown in Fig. 2, this can be done. The figure shows a diagram of the transmission of a logical interface signal from the control system to the CSE device. The outputs of buffer logic elements are connected in parallel due to the connection diagram in the CSE device through resistors R1 (Fig. 2), which perform the functions of both some coordination of the wave impedance with the cable line, and the function of support against possible overcurrents in the event of a short circuit of the switched on equipment, which in the process of docking tests in practice is not excluded.

**Fig. 2.** Signal transmission from the control system to the equipment of a complex

The input stage of the CSE device practically has no special features — it can use a standard CMOS element with protective diodes in the input circuits. Resistor R2 fulfills the mandatory requirement of the CMOS series to exclude the open state of the input (for example, when the connector is disconnected and power is supplied to the device), resistor R3 is current-limiting for protective diodes. If the interface operates when the power to the CSE device is turned off, it must limit the parasitic current through these diodes to a safe level. In this case, the order in which these

resistors are connected is very important so that parasitic division of the input signal voltage does not occur, that is, the potential pull-up resistor R2 must be connected to the circuit up to resistor R3.

Thus, the shown connection circuit works normally in all possible cases:

- when the control system is operating and the power supply to the CSE device is turned off, due to the sufficiently high resistance of resistor R3, the input circuits of the device are not damaged, and parasitic power supply to the device does not occur;

- when any of the control system sets is operating and the power supply of the CSE device is turned on, the switched off control system set does not affect the operation of the signal transmission circuit due to the fact that its output element is in the third state, even in the de-energized mode, due to the features of the TTLSch circuitry shown in Fig. 2;

- in the event of an emergency turning on both sets of the control system, the resistance of resistors R1 will be sufficient to prevent failure of the output stages of the control system, which will begin to operate in short circuit mode.

A more complex task: while maintaining the parallel connection layout of all electrical circuits of the interfaces, ensure that the active set of the control system receives the logical signal so that the switched off set does not interfere the operation and is not damaged. The proposed solution to this problem is shown in Fig. 3. The output stage of the CSE device in this case can also be a conventional logic gate of CMOS technology with a series resistor R1, which performs similar functions of matching the wave impedance and providing insurance in the event of a short circuit.

**Fig. 3.** Signal transmission from the device as part of complex to the control system

In the input circuit of the control system, resistors R2 (current limiting for input insurance) and R3 (pulling the level to logical zero by default) are installed. Resistor values are selected in such a way as not to interfere with the normal operation of the interface. As an input buffer, the 561LN2 microcircuit is used (this is fundamental), which has a special input stage that does not contain standard protective diodes connected to the power circuits of the microcircuit.

This feature, directly stated in the specifications for the microcircuit, allows voltages exceeding the supply voltage to be applied to microcircuit inputs, i.e., including supplying input signals when the power supply to the unit is completely switched off.

The specified series of microcircuits, as far as the author knows, currently continues to be produced by the JSC INTEGRAL (Belorussia), and, possibly,

some Russian enterprises within the framework of the import substitution program.

Thus, the backup set of the control system does not have a noticeable shunting effect on the operation of the circuits for transmitting logical signals from the device to the control system, while allowing even the simultaneous operation of both sets of the control system in emergency situations.

### GENERAL ISSUES OF CREATING INTERFACE FOR INFORMATION EXCHANGE OF EXPERIMENTAL COMPLEXES

The above-described method of combining complex control system sets makes it possible to implement various types of interfaces for information exchange with equipment: synchronous, asynchronous, serial, parallel, serial-parallel, etc. The disadvantages of the method include the presence of sufficiently large resistors R2 in the input circuits of the control system (Fig. 3), which does not allow the exchange to be carried out at maximum data transfer rates due to the prolongation of the edges of the pulse on the input capacitance of the logic element. However, this drawback can be largely mitigated due to the flexibility of the interface type and the careful design of a specific electrical circuit with optimization of circuit parameters.

An essential feature of the method is also the fundamental rejection of galvanic isolation of the electrical circuits of the devices of the complex and the arrangement of a classical common "logical ground" bus (of course, galvanically isolated from the equipment housings). This solution makes it possible to significantly reduce the weight and size characteristics of the equipment complex and to increase the reliability of its operation, because practically the only acceptable solution in this case — optrons — has substantial problems under conditions of prolonged exposure to ionizing radiation from outer space. The experience of using this, of course, largely controversial approach when creating a number of scientific equipment complexes at IZMIRAN has fully confirmed its validity and legitimacy.

### CONCLUSIONS

The considered approach to organizing the electrical circuit for connecting the main and backup sets of the control system does not imply any specific information exchange protocol, which is selected depending on the requirements of the project, the availability of the element base, and the capabilities of the developers of individual systems and components. The main advantage of the method is maximum flexibility of the control system to the requirements of

a complex of experimental equipment, which can often ensure the achievement of unique results by concentrating the competencies of system developers on target tasks and not on the implementation features of specific standard interfaces.

The proposed circuit technique has successfully proven its worth during the implementation of a long-term program of space experiments at the orbital solar observatory CORONAS-F [1].

The scope of application of the described approach to redundancy of control systems is the development of experimental samples of scientific and special equipment of increased reliability, mainly for space purposes, in conditions of import substitution of the electronic component base and extremely short terms of introduction into normal operation.