

Ю. Н. Либенко¹, А. В. Парфенов¹

¹ АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева»

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ТРАКТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НАЗЕМНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) в различных областях экономической деятельности выполняет все более сложные задачи на объектах с повышенными уровнями ответственности. Данное обстоятельство увеличивает зависимость функционирования РЭА от бесперебойности подачи электроэнергии и уровня ее качества, а также от уровня отказоустойчивости важной вспомогательной части РЭА – системы электропитания (СЭП), что существенно влияет на возможность выполнения РЭА поставленных перед ней задач. Результаты анализа существующих и поиска перспективных путей обеспечения заданного уровня безотказности РЭА, связанного с проблемами ее электропитания, показывают необходимость применения комплексного подхода к выбору наиболее эффективного варианта. Он заключается в совокупной реализации процесса, обозначенного вновь введенным термином «безотказность тракта электроснабжения (ТЭ) РЭА», объединяющего бесперебойность снабжения РЭА электроэнергией установленного уровня качества и безотказность функционирования СЭП, выполняющей преобразование исходной электроэнергии к виду и значениям ее параметров, приемлемых для электропитания функциональных узлов РЭА. Способы повышения безотказности ТЭ РЭА наземных стационарных объектов рассмотрены для двух ее характерных видов – вычислительного комплекса (ВК) и телекоммуникационной системы (ТС) с электропитанием однофазным напряжением 220 В; 50 Гц и значением потребляемой мощности до 3–5 кВА. В части повышения бесперебойности электроснабжения особенностью предлагаемых решений является достижение поставленной цели путем дополнительного использования существующих ресурсов объектов установки РЭА. В отдельных случаях предусматривается также их ограниченное увеличение. Для повышения отказоустойчивости СЭП РЭА предложены: в централизованной части СЭП – применение магистрально-модульной архитектуры, выбор эффективной структуры, а также адаптивных способов и алгоритмов управления и резервирования; в распределенной части СЭП – оптимизация структуры и минимизация количества составных частей.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, качество электроэнергии, бесперебойность электроснабжения РЭА, безотказность системы электропитания РЭА, безотказность тракта электроснабжения РЭА, силовые электромагнитные воздействия, выделенная линия электропитания.

Введение

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА), с ее стремительно растущей прогрессией как функционального и параметрического совершенствования, так и проникновения практически во все техногенные сферы деятельности человека, выполняет все более сложные задачи с повышенными уровнями ответственности – от частных и корпоративных до региональных и государственных, от производственных и финансовых до управленческих и оборонных. С другой стороны, все больше сказывается зависимость принципиальных возможностей, практического создания и безотказного функционирования в эксплуатации современной РЭА от обеспечения ее электроэнергией

с требуемыми уровнем качества и бесперебойностью подачи.

Предлагаемые в настоящей статье способы повышения безотказности трактов электроснабжения (ТЭ) РЭА наземных стационарных объектов рассмотрены для двух ее характерных видов. Первый из них – вычислительный комплекс (ВК), обеспечивающий создание, обработку и хранение информационных массивов. Второй вид РЭА представляет собой современную телекоммуникационную систему (ТС), обеспечивающую сбор и передачу больших объемов информации как между различными ВК, так и между ВК и ее потребителями.

Практически любая разновидность РЭА имеет общепринятую структуру, содержащую

функциональную часть, определяющую ее основное назначение и область применения, а также ряд вспомогательных (обеспечивающих) частей. Наиболее важной и сложной из них, с точки зрения условий функционирования, многоуровневого сопряжения со своей функциональной частью и с внешними устройствами, а также внутренних процессов, является система электропитания (СЭП). Поэтому общая задача повышения безотказности ТЭ как такового и способы ее решения схожи для большинства разновидностей РЭА. При необходимости учета каких-либо дополнительных специфических аспектов для ВК (ТС) в дальнейшем тексте статьи будет представлена соответствующая детализация рассматриваемых вопросов.

Термины и определения

Приведем некоторые пояснения, предваряющие определение предложенного соавторами общего термина «тракт электроснабжения РЭА», являющегося частью названия данной статьи и неоднократно применяемого в ней. С этой целью в начале рассмотрим особенности наземных стационарных объектов. Для них термин «тракт электроснабжения» как таковой не является новым. Он относится к направлению техники «Электроэнергетика» и традиционно объединяет устройства и сооружения, обеспечивающие выработку электрической энергии, ее передачу к потребителям, распределение между ними, защиту от возникающих природных и техногенных аварийных ситуаций. Как правило, у большинства наземных стационарных объектов (потребителей электроэнергии) ТЭ заканчивается на его устройстве ввода электроэнергии (УВЭ). Синонимом ТЭ в данном случае является более распространенный термин – «система электроснабжения» (СЭС): общего назначения или автономная.

Добавление к термину «тракт электроснабжения» аббревиатуры «РЭА» создает уже другую ситуацию, т.к. фактически означает «проникновение» ТЭ внутрь объекта. Это обстоятельство привело к возможности условного деления ТЭ РЭА на четыре основные части, что и составило основу определения вновь введенного термина: «совокупность источников электроэнергии (ИЭ), внешних (ВРЭС) и объектовых (ОРЭС) распределительных электрических сетей, а также СЭП РЭА». Во вторую и третью часть входят соединительные линии и защитно-коммутационные устройства (ЗКУ), а СЭП может располагаться либо полностью в РЭА, либо частично во внешних устройствах. ИЭ и началом ТЭ при использовании объектом электроэнергии стационарной СЭС общего назначения сможет считаться ее конечная распределительная трансформаторная подстанция (РТП), а граничным сечением ТЭ в РЭА – выходы СЭП.

Опять же, условно к ВРЭС возможно отнести все составные части ТЭ РЭА: от ИЭ до УВЭ объекта, а к ОРЭС – все составные части внутренней структуры объекта: от УВЭ до соединителей для подключения входных цепей электропитания СЭП РЭА в помещениях объекта. В отдельных случаях, рассмотренных далее, часть СЭП РЭА может входить в ОРЭС. Такое структурное деление ТЭ РЭА позволяет определить для каждой из его составных частей и совокупно некоторые способы достижения поставленной цели, содержащейся в названии данной статьи.

Не полностью решенной до настоящего времени также является проблема достижения реально необходимого уровня безотказности СЭП РЭА. Последняя представляет собой совокупность различных видов средств силовой электроники, обеспечивающих энергетическую (в т.ч. электромагнитную) адаптацию функциональных узлов РЭА в части электропитания их элементов с видами и значениями показателей качества электроэнергии, поступающей на вход СЭП.

Термин «безотказность ТЭ РЭА» означает одновременное сочетание свойств бесперебойности подачи электроэнергии с установленными значениями параметров ее качества от ИЭ через ВРЭС и ОРЭС на вход электропитания СЭП РЭА и безотказности самой СЭП как составной части ТЭ РЭА. Не связанное воедино обеспечение каждого из этих свойств, даже при достижении самых высоких их показателей, не дает желаемого результата. Причина очевидна: из-за рассмотренной выше последовательной структуры ТЭ РЭА невыполнение любого из свойств делает РЭА фактически неработоспособной, а возложенные на нее задачи – невыполнимыми.

Повышение безотказности ТЭ РЭА

Основной целью предлагаемых далее технических решений является повышение безотказности ТЭ РЭА различного назначения путем дополнительного использования существующих ресурсов его отдельных составных частей.

До перехода к изложению этих решений отметим важный аспект, преимущественно касающийся функционирования наземных стационарных объектов с РЭА в виде ВК (ТС), различных по назначению, сложности, производительности и уровню ответственности (критичности). Примером ВК может служить специализированный центр обработки данных (ЦОД) и подобные ему другие объекты, связанные с созданием, обработкой, хранением и обменом информации, требующей защиты от воздействия на нее различных факторов [1]. При значительном многообразии таких факторов специфическую группу составляют различные виды силовых

электромагнитных воздействий (СЭМВ) непреднамеренного и преднамеренного характера [2, 3]. Как таковые СЭМВ всех видов представляют значительные (нештатные) отклонения значений параметров качества электроэнергии от установленных норм [4, 5], определяющих границы технических возможностей (электрические и функциональные характеристики) большинства видов РЭА. Среди рассматриваемых объектов с ВК реализации самых совершенных мер по защите информации в наибольшей степени требуют те из них, которые в качестве основных ИЭ используют РТП из структуры СЭС общего назначения [4].

Общими требованиями к РЭА в рассматриваемом аспекте являются:

- Отказоустойчивость в пределах норм качества электроэнергии.
- Возможность отключения входной цепи СЭП от предыдущей (со стороны ИЭ) составной части ОРЭС при превышении норм качества электроэнергии с сохранением работоспособного состояния.
- Обеспечение повторного ручного или автоматического включения для продолжения штатной работы после возврата значений параметров качества электроэнергии в допустимые пределы.

К отдельным видам РЭА, наряду с вышеизложенными требованиями, предъявляются дополнительные в части обеспечения повышенной отказоустойчивости по отдельным видам СЭМВ или при их определенном сочетании. Например, пропадание напряжения (кратковременное или длительное) в однофазном ИЭ или пропадание напряжения в одной, двух или всех фазах в трехфазном ИЭ является одним из таких видов СЭМВ и требует априорного принятия адекватных мер.

Другой «болевым точкой» является необходимость повышения отказоустойчивости СЭП из-за ее существенного влияния на работу функциональных узлов РЭА.

Итогом вышеизложенного может быть следующий вывод. Потребителю выходного эффекта (продукта), создаваемого работой современной РЭА, особенно средств и комплексов вычислительной техники, безразлична причина их некачественного электропитания, приведшая, в лучшем случае, к ощутимой материальной потере. В зависимости от назначения РЭА потери могут иметь более значительные и даже катастрофические последствия.

Наиболее распространенным способом электропитания ВК, потребляющего входную электроэнергию переменного тока со значением мощности до 3–5 кВА и расположенного в одном помещении, является использование однофазной части

структуры ОРЭС. Она обеспечивает электропитание ВК, состоящего из нескольких устройств вычислительной техники и периферийного оборудования. В помещении, как правило, установлен трехфазный индивидуальный распределительный щит (ИРЩ) с однофазными автоматическими выключателями (АВ), питающий несколько однофазных электропотребителей. Несколько таких ИРЩ, расположенных в разных помещениях на объекте, подключаются к фазам трехфазной ОРЭС через групповые РЩ (ГрРЩ) с трехфазными АВ. В свою очередь, ГрРЩ подключены к ГРЩ объекта через его трехфазные АВ. При появлении в любой из фаз сверхнормативной токовой перегрузки или короткого замыкания одновременно отключаются все три фазы, обесточивая подключенные к этой структуре ВК.

Для бесперебойного энергоснабжения устройств ВК используются устройства бесперебойного питания (УБП) с продолжительностью их автономной работы в течение 5–15 минут. Этого промежутка времени бывает достаточно для сохранения обрабатываемой информации в энергонезависимой памяти ВК или корректного завершения начатого ранее процесса. При разряде аккумуляторной батареи (АБ) или отказе отдельных функциональных узлов УБП могут автоматически включить «байпас», т.е. подать на нагрузку непосредственно входную электроэнергию вне зависимости от ее качества. В этом случае составные части ВК остаются практически незащищенными от влияния сверхнормативных значений параметров входной электроэнергии, возникающих по различным причинам, что может привести к вышеупомянутым результатам. Кроме того, часто повторяющийся практически полный разряд и последующий длительный заряд АБ УБП сокращает ее ресурс, ограниченный количеством таких циклов.

Предлагаемые технические решения, направленные на устранение (существенное снижение влияния) отмеченных недостатков, основаны, как упомянуто в начальной части данной статьи, на дополнительном использовании существующих ресурсов отдельных составных частей ТЭ РЭА. Под этим понимается как их непосредственное использование, так и использование с ограниченным добавлением к ним необходимых технических средств.

Наличие в помещении с ВК вновь созданной или ранее введенной трехфазной линии электропитания позволяет сделать первый шаг на пути дополнительного использования существующих ресурсов отдельных составных частей ТЭ РЭА. При электропитании ВК напряжением одной фазы этой линии с помощью устройства автоматического выбора фазы (УАВФ) проводится постоянный контроль значений напряжения в каждой из трех фаз и автоматический выбор фаз с нормированным

значением напряжения, а также последующим подключением цепи электропитания ВК к любой из выбранных фаз.

Наибольший экономический эффект достигается при наличии на объекте ранее введенной «выделенной линии электроснабжения» (ВЛЭ), идущей от ГРЩ через ГрЩ к помещениям с ВК и априорно используемой для защиты обрабатываемой информации от влияния СЭМВ по цепям электропитания со стороны других потребителей электроэнергии, т.к. исключает их общее электроснабжение с ВК.

Для этого варианта существуют определенные условия его наиболее эффективного применения:

1. Минимальное количество ВК на объекте, подключаемых к ВЛЭ, должно быть не менее трех (по количеству фаз в ИРЩ).
2. Каждая фаза ВЛЭ должна иметь запас по значению габаритной мощности, определенный с учетом требования к нормированному значению коэффициента небаланса фазных напряжений при двукратном увеличении токовой нагрузки одной из двух функционирующих фаз ВЛЭ при пропадании напряжения в третьей.
3. При штатной работе фаз ВЛЭ УАВФ должно при наличии соответствующего ресурса оперативно переключать нагрузки фаз для поддержания минимально возможного значения коэффициента небаланса фазных напряжений.

Вариант 1 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ОРЭС) приведен на рис. 1.

ВЛЭ подключена непосредственно к ГРЩ объекта через ГрЩ, содержащий три однофазных АВ и ручной коммутатор (РК). При первой подаче напряжения в ГрЩ вначале включаются все АВ, затем – РК; при отключении и последующих включениях используется только РК.

ВЛЭ проходит через все помещения объекта, в которых установлены ВК, при этом в каждом из них ВК подключается к ВЛЭ через ИРЩ с тремя однофазными АВ. Три фазы ВЛЭ подключены к УАВФ, которое выбирает одну из них на основании заданного диапазона значений напряжения, а также заданного допустимого значения коэффициента небаланса фаз по напряжению в данном сечении ВЛЭ, и коммутирует ее на выход устройства. Указанные значения могут быть введены в УАВФ по внутреннему интерфейсу И1 от АРМ на базе ПЭВМ, размещаемого совместно с одним из ВК объекта, или вручную с помощью органов управления и контроля на лицевой панели устройства. УАВФ измеряет в каждой из фаз значение тока и напряжения, определяет значение мощности, потребляемой его нагрузкой, а также небаланс напряжений и передает эти данные в реальном времени в АРМ по интерфейсу И1. АРМ имеет также внешний интерфейс И2 для подключения к другим устройствам и системам объекта (при необходимости). Для исключения неэффективных переключений фаз из-за кратковременных (до 1 с) всплесков, провалов и пропаданий напряжения в выбранной фазе в УАВФ может быть также априори введено значение времени задержки.

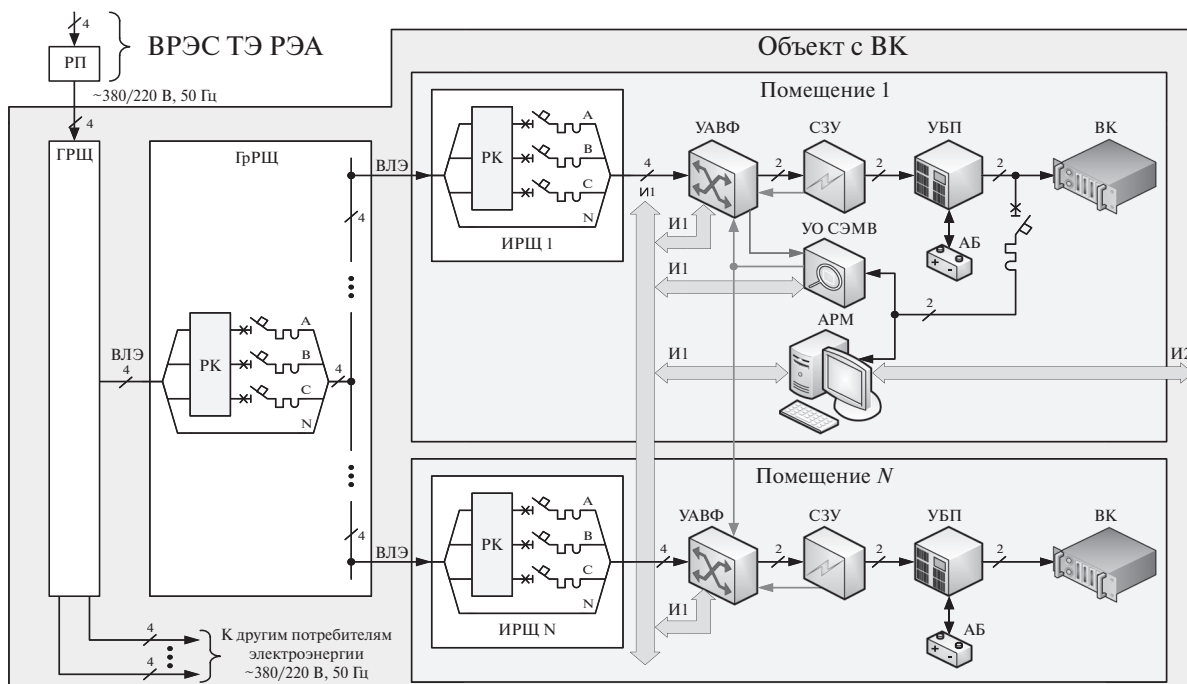


Рисунок 1. Вариант 1 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ОРЭС)

Эффективными мерами защиты от влияния СЭМВ на работу ВК независимо от причины их возникновения в ТЭ являются применение сетевого защитного устройства (СЗУ) и устройства обнаружения СЭМВ (УО СЭМВ). Первое включается в ТЭ каждого ВК и защищает его от воздействия высоковольтных импульсов напряжения и длительных перенапряжений. Амплитуда импульсов ограничивается СЗУ на безопасном для питаемых устройств уровне, а напряжение при его сверхпороговом значении отключается от выхода СЗУ. В случае превышения значениями параметров СЭМВ в выбранной фазе защитных возможностей СЗУ от УО СЭМВ выдается сигнал по физической цепи на все УАВФ для отключения ВК от этой фазы, а в АРМ направляется сообщение по И1 для фиксации данного события. В этой ситуации электропитание всех ВК, АРМ и УО СЭМВ поддерживается с помощью УБП. После окончания СЭМВ с критическими значениями параметров в выбранной фазе УАВФ по команде от УО СЭМВ автоматически вновь подключает к ней ранее отключенные нагрузки. При отказе СЗУ сигнал передается в УАВФ и затем в виде сообщения – в АРМ.

При повторном появлении в выбранной фазе за определенный промежуток времени опасных значений СЭМВ, выявленных УО СЭМВ, ПЭВМ выдает команды на все УАВФ для переключения электропитания ВК от другой из фаз с нормативным значением напряжения. При этом учитываются значение небаланса фаз и реальные значения мощности, потребляемой ВК. Применение УО СЭМВ и СЗУ в ВК, кроме того, соответствует требованиям НТД

в части обнаружения преднамеренных СЭМВ [6] и защиты от них [7] соответственно.

При возникновении в ВЛЭ или в ВРЭС таких аварийных ситуаций, как выход значения фазного напряжения за установленные пределы, пропадание напряжения одновременно в двух фазах и обрыв рабочего нулевого провода в ВРЭС или ОРЭС, ресурсов в этом варианте обеспечения повышенной бесперебойности электроснабжения ВК становится недостаточно.

На рис. 2 приведен вариант 2 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ВРЭС и ОРЭС), предъявляющего более высокие требования к бесперебойности электроснабжения.

Требования выполняются при условии организации на объекте дополнительного ввода от другой ТРП, что может рассматриваться как дополнительное использование ресурсов ВРЭС. Альтернативным вариантом является применение в составе ОРЭС автономного ИЭ, например, трехфазного дизель-генератора (ДГУ) с аналогичными номинальными значениями основных параметров качества электроэнергии. При этом значение его мощности может быть выбрано только с учетом электропотребления всех ВК объекта (без учета других потребителей электроэнергии).

В случае возникновения в электроснабжении ВК объекта вышеупомянутых аварийных ситуаций переключение на любой резервный ИЭ выполняется с помощью устройства автоматического включения резерва (АВР). В зависимости от вида резервного ИЭ его электроэнергия может появиться на выходе АВР через 1–2 с или через несколько минут

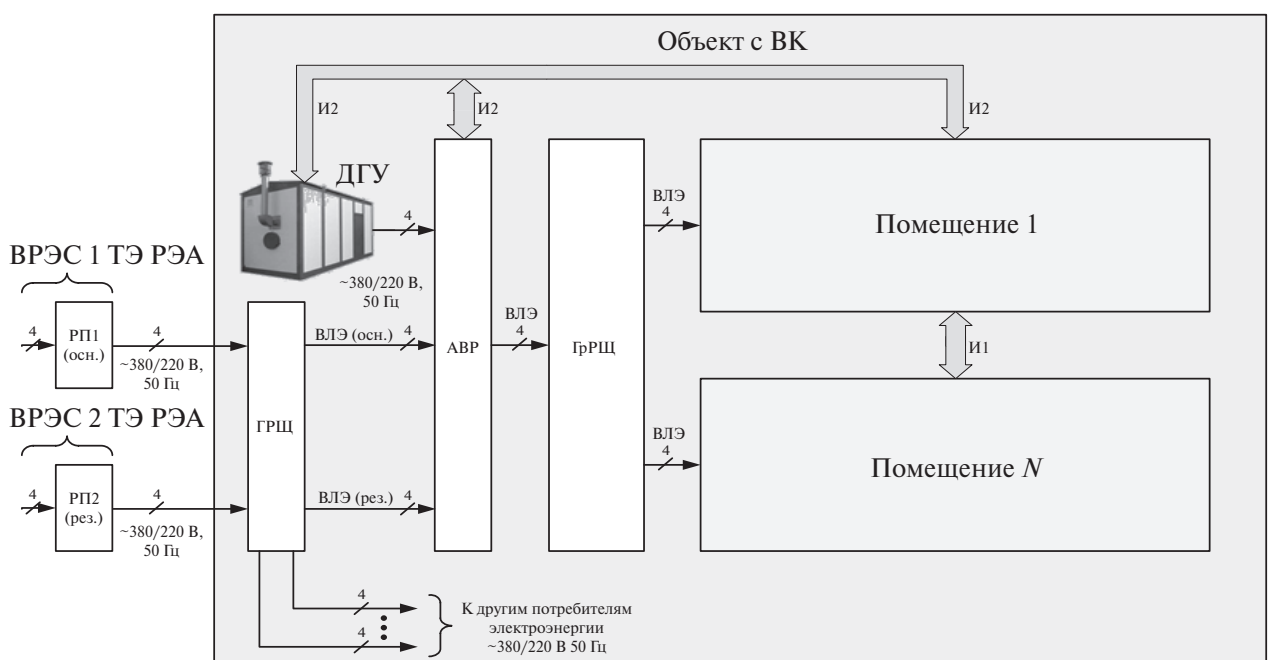


Рисунок 2. Вариант 2 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ВРЭС и ОРЭС)

(после запуска ДГ и достижения на его выходе номинальных значений основных параметров качества электроэнергии). В последнем случае перерыв в электроснабжении ВК должен компенсироваться ресурсами УБП, АБ которых работают практически в буферном режиме (без существенного разряда).

Временной ресурс ДГ значительно превышает аналогичные возможности УБП, в связи с чем последний в процессе электропитания ВК от резервного ИЭ полностью или частично восстанавливает затраченную им электроэнергию на поддержание бесперебойности электроснабжения. В современных ДГ предусмотрена возможность дистанционного управления и контроля по стандартным интерфейсам, что позволяет подключить его к АРМ через И2. В остальном вся структура ТЭ в пределах помещений с ВК соответствует приведенной на рис. 1.

На рис. 3 приведен вариант 3 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ОРЭС), в котором в качестве резервных применяются автономные ИЭ различного вида, в т.ч. с нетрадиционными способами выработки электроэнергии. В данном случае необходимо применение концентратора электроэнергии (КЭ), который выполняет следующие функции:

1. Подключение к двум и более ИЭ переменного (одно- или трехфазного) или постоянного тока с одинаковыми или отличающимися значениями параметров электроэнергии.

2. Параметрическое нормирование электроэнергии от ИЭ различного вида к значениям, пригодным для:
 - подключения выбранного ИЭ непосредственно к нагрузке;
 - периодического подключения к накопителю электроэнергии.
3. Длительное хранение электроэнергии в накопителе.
4. Преобразование вида и значений параметров электроэнергии накопителя к значениям, пригодным для электропитания нагрузки.
5. Обеспечение возможности априорной установки диапазона значений напряжения ИЭ, удовлетворяющего требованиям к электропитанию нагрузки.
6. Автоматический выбор ИЭ с наибольшим значением напряжения в пределах установленного диапазона.
7. Оперативное автоматическое переключение нагрузки к ИЭ с наилучшим текущим значением напряжения в пределах установленного диапазона при выходе значения напряжения ранее выбранного ИЭ за установленные пределы.
8. Защита выбранного ИЭ от перегрузки по току и от короткого замыкания в нагрузке.
9. Защита нагрузки от перенапряжения в соответствии с установленным диапазоном значений напряжения ИЭ.

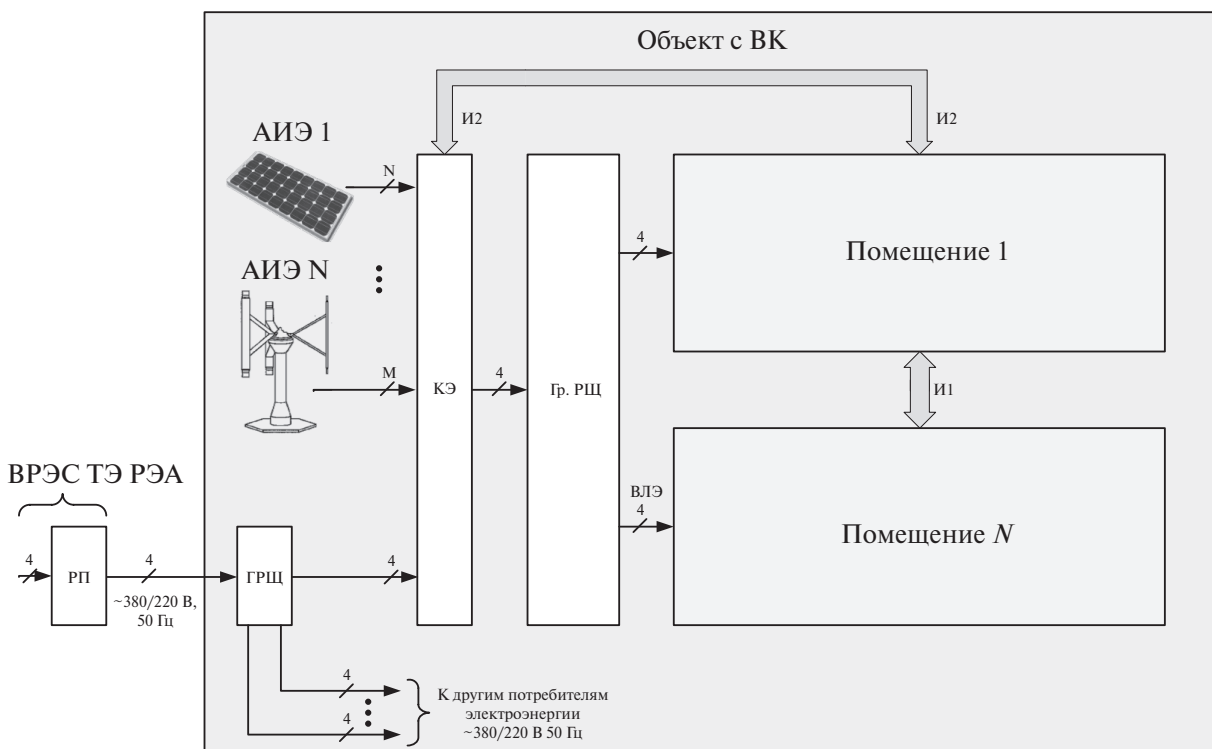


Рисунок 3. Вариант 3 обеспечения повышенной безотказности ТЭ ВК (в части ОРЭС)

10. Обеспечение взаимодействия с внешними устройствами с помощью обмена сигналами по физическим линиям и информационного обмена по стандартному интерфейсу.

При необходимости повышения безотказности ТЭ РЭА, потребляющей мощность более 3–5 кВА и содержащей в качестве выпрямителей трехфазные преобразователи напряжения (ПН), реализация бесперебойности энергообеспечения РЭА за счет переключения на другие фазы ИЭ невозможна. В этом случае данный вопрос решается соответствующим увеличением количества ИЭ (в т.ч. автономных) и соответствующих входов АВР или КЭ.

Повышение отказоустойчивости СЭП РЭА может быть достигнуто решениями, основанными на следующих принципах [8–10]:

1. Использование структуры СЭП комбинированного вида, состоящей из двух функциональных составных частей: централизованной (ЦЧ) и распределенной (РЧ).
2. Повышение безотказности в обеих частях СЭП путем резервирования, т.е. априорного введения в них некоторой избыточности аппаратных и программных средств.
3. Реализация ЦЧ СЭП на основе магистрально-модульной архитектуры (ММА) в совокупности со специальным алгоритмом ее функционирования. Данная реализация ЦЧ СЭП позволяет обеспечить следующие основные преимущества СЭП в целом:
 - повышение отказоустойчивости, живучести и безаварийности;
 - адаптация к изменяющимся внешним и внутренним нештатным ситуациям и условиям функционирования ЦЧ СЭП за счет оптимального использования ее ресурсных возможностей и учета особенностей каждой из возникших ситуаций;
 - оперативное создание ряда исполнений (по значению выходной мощности и параметров отказоустойчивости) ЦЧ СЭП на основе ее базового варианта;
 - снижение эксплуатационных расходов и времени восстановления ее работоспособности (практически отсутствует) после отказа отдельных составных частей;
 - существенное снижение зависимости от человеческого фактора в условиях эксплуатации.

Предложения, касающиеся повышения отказоустойчивости РЧ СЭП, непосредственно обеспечивающей электропитанием функциональные узлы ВК, из-за наличия в ней двух основных принципиальных вариантов реализации, также представлены

раздельно. Первый вариант связан с современной тенденцией к использованию в функциональных узлах РЭА (особенно вычислительных устройствах) напряжения питания с более низким номинальным значением при существенном увеличении значения потребляемых токов до сотен – единиц тысяч ампер. Для реализации такой мощной, высококачественной и отказоустойчивой шины постоянного тока может быть с успехом применен аналог ПН на основе ММА, рассмотренный выше для ЦЧ СЭП.

Это способствует одновременному решению несколько технически сложных задач:

1. Получение необходимого значения выходного тока (мощности) на шине путем совместной (параллельной) работы на нее N «единичных» ПН с меньшими в N раз значениями выходного тока (мощности).
2. Повышение безотказности шины путем применения рассмотренного выше способа резервирования « $N+1+K$ » «единичных» ПН.
3. Существенное снижение уровня излучаемых и кондуктивных СЭМВ, поступающих в ИЭ и функциональные узлы ВК путем применения многофазного способа управления работой всех «единичных» ПН, т.е. со сдвигом на один такт импульсов, управляющих процессом преобразования электроэнергии в каждом из них.
4. Снижение локальных перегревов в шине за счет пространственного разнесения в ее конструкции N ПН.

Для второго варианта – реализации РЧ СЭП в виде совокупности традиционных электронных модулей первого уровня разукрупнения (ячеек), потребляющих стандартные номинальные значения напряжения постоянного тока (5, 9, 12, 15 В) с относительно небольшими значениями потребляемой мощности (до нескольких десятков – сотен Ватт), возможно проведение оптимизации структуры РЧ СЭП, заключающейся в:

- выработке вышеприведенной номенклатуры номинальных значений напряжения с помощью распределенных по функциональным узлам ПН малой и средней мощности вида DC-DC (основных и резервных), объединенных по выходу элементами развязки. Следующим шагом в этом направлении является применение в функциональных узлах РЭА вместо таких традиционных ПН упрощенных и малогабаритных ПН типа POL («point of load»), особенно в цепях электропитания с небольшими значениями и изменениями тока нагрузки, позволяющих еще более равномерно распределить их по площади модуля, снижая тем самым уровни локальных

тепловыделений и СЭМВ на его функциональные элементы;

- возможности создания в РЧ СЭП резервированных промежуточных шин постоянного тока со значениями выходных напряжений, позволяющих обеспечить непосредственное подключение к ним через развязывающие и защитные элементы цепей электропитания функциональных модулей.

Из вышеприведенного становится очевидной основная цель оптимизации РЧ СЭП – максимально возможное исключение из нее так называемых «источников вторичного электропитания» в виде самостоятельных конструктивных модулей со всеми их основными недостатками в части массогабаритных показателей, отказоустойчивости, тепловыделения и электромагнитной совместимости.

Электропитание СЭП РЭА стационарных наземных объектов постоянным током, поступающим к ней непосредственно от ИЭ, имеет ограниченное применение при решении достаточно специфических задач. В связи с этим для рассмотрения основных путей решения поставленной задачи для стационарных наземных объектов при электропитании СЭП РЭА постоянным током выберем в качестве наиболее характерного примера упомянутый в начале данной статьи объект с ТС. Такой объект использует электроэнергию переменного тока с целью ее дальнейшего преобразования в энергию постоянного тока для электропитания непосредственно СЭП РЭА. Специализированная электропитающая установка связи, выполняющая данный

вид преобразования электроэнергии, является подобием ранее рассмотренной шины постоянного тока и не входит в структуру ТС. Поэтому в данном случае можно считать эту шину составной частью ОРЭС. При этом варианты решения задачи обеспечения бесперебойности электроснабжения переменным током в ВРЭС и ОРЭС остаются такими же, как и рассмотренные ранее.

Особенность решения данной задачи заключается в возможности повышения значения мощности шины постоянного тока без применения в ней трехфазных ПН. Увеличение значения мощности шины достигается путем увеличения количества однофазных ПН, подключенных к ней их выходными цепями. Еще большее значение выходной мощности шины можно достичь путем увеличения значения габаритной мощности «единичных» ПН.

На рис. 4 приведена структурная схема шины постоянного тока – адаптивной системы преобразования электроэнергии (АСПЭ) с выходной мощностью, дискретно или плавно варьируемой от 3 до 12 кВт. Такая версия шины с применением соответствующих вариантов ПО позволяет достичь возможности повышения ее основных качественных и количественных показателей:

- безотказности;
- безаварийности;
- живучести;
- бесперебойности подачи электроэнергии в СЭП ТС;
- параметрической многовариантности исполнения АСПЭ;

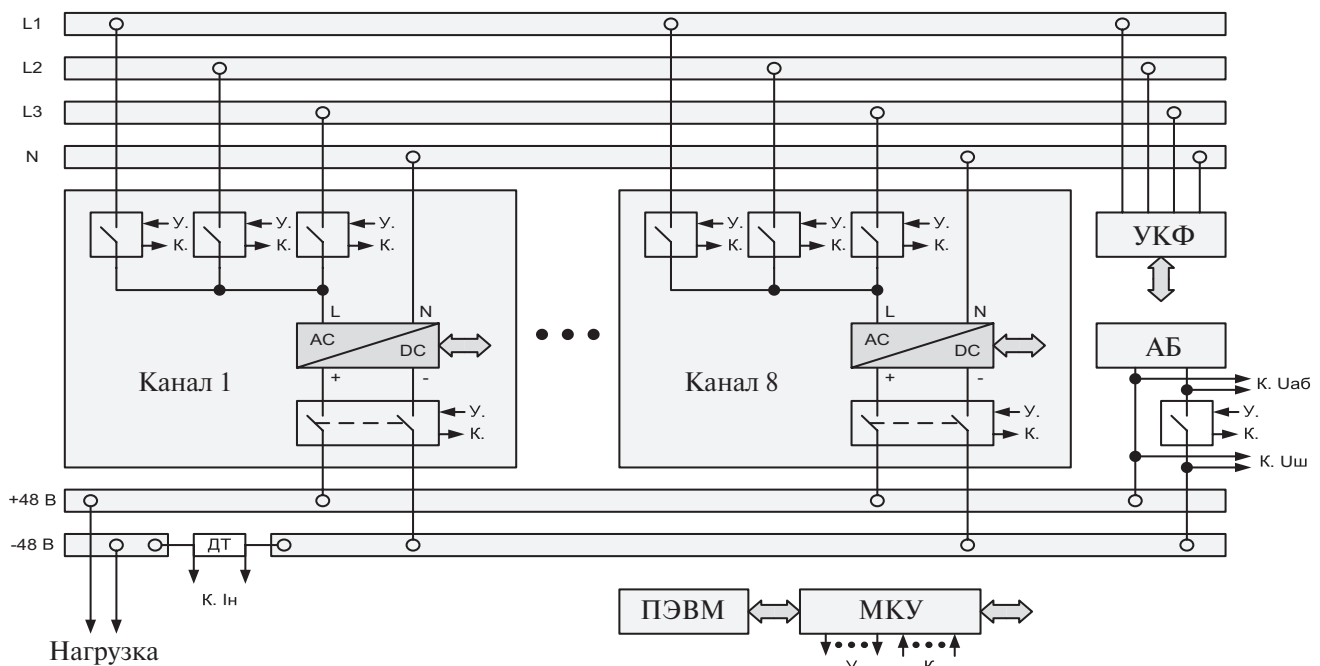


Рисунок 4. Структура адаптивной системы преобразования электроэнергии АСПЭ

- работы в режиме «динамической (по мощности) шины»;
- снижения зависимости от человеческого фактора при эксплуатации.

Эти свойства являются наиболее важными для РЭА, применяемой на «критических» объектах различного направления и уровня ответственности (железнодорожный и авиационный транспорт, связь, центры обработки данных, непрерывные технологические процессы, государственные и финансовые структуры, управление стационарными и подвижными военными объектами и т.п.).

АСПЭ состоит из следующих основных функциональных частей:

- Входная трехфазная четырехпроводная шина переменного тока.
- Выходная шина постоянного тока.
- Восемь однофазных ПН вида AC-DC (выпрямители).
- Устройство коммутации: группа из 24 (8x3) входных однофазных коммутаторов, обеспечивающих подключение входа любого из ПН к любой из трех фаз входной шины, группа из восьми выходных коммутаторов, обеспечивающих отключение выхода любого ПН от выходной шины при его отказе.
- ПЭВМ, содержащая специальное программное обеспечение, позволяющее обеспечить вышеперечисленные свойства АСПЭ.
- Модуль контроля и управления (МКУ), реализующий алгоритм работы АСПЭ в соответствии с выбранной на ПЭВМ программой и осуществляющий непосредственно управление и контроль всех основных частей АСПЭ.
- Устройство контроля фаз (УКФ), следящее за значением напряжения в каждой из них и передающее эту информацию в МКУ.
- Аккумуляторная батарея (АБ), подключаемая и отключаемая от выходной шины макета с помощью коммутатора, поддерживающая бесперебойное электропитание СЭП РЭА в моменты переключения входных коммутаторов (доли секунды) и непродолжительных (несколько минут) пропаданиях напряжения в двух или трех фазах ИЭ.

Таким образом, бесперебойность выходного напряжения АСПЭ достигается за счет оперативного переключения однофазных ПН на действующие фазы ИЭ и поддержки его с помощью АБ. Для обеспечения бесперебойной работы АСПЭ при пропадании напряжения более чем в одной фазе ИЭ входная шина может быть подключена к выходу дополнительной части АСПЭ, выполняющей функцию

АВР, с подключением его входов к двум ИЭ – основному и резервному.

Безотказность, безаварийность, живучесть, возможность АСПЭ автономно (без технического обслуживания) функционировать в течение времени заданной продолжительности, параметрическая многовариантность исполнений АСПЭ и ее работа в режиме «динамической (по мощности) шины» обеспечивается за счет реализации ее преобразовательной части на основе ММА, способа резервирования ПН « $N+1+K$ » и применения специальных алгоритмов контроля и управления (аналогично приведенному выше в части СЭП РЭА).

Выводы

Современная РЭА выполняет все более сложные задачи на объектах с повышенными уровнями ответственности. В связи с этим все больше сказывается зависимость ее функционирования от бесперебойности подачи электроэнергии со стороны системы электроснабжения и от безотказности преобразования вида и значений параметров исходной электроэнергии системой электропитания (СЭП) РЭА.

Способы решения этих самостоятельных проблем целесообразно рассматривать в измененном формате, объединив их с целью достижения требуемой безотказности тракта электроснабжения (ТЭ) РЭА. Он представляет собой совокупность источников электроэнергии (ИЭ), внешних (ВРЭС) и объектовых (ОРЭС) распределительных электрических сетей, а также СЭП РЭА. При этом для ИЭ, ВРЭС и ОРЭС главной задачей остается бесперебойное обеспечение РЭА качественной электроэнергией, а для СЭП РЭА – обеспечение отказоустойчивости в процессе ее преобразования к требуемому виду и значению параметров. Основанием для выбора такого формата является инвариантность зависимости нормального функционирования РЭА от того, какая из двух основных частей ТЭ не обеспечивает штатное электропитание ее функциональной части: подающая электроэнергию от ИЭ или ее преобразующая.

В данном контексте для двух широко представленных видов РЭА: стационарных вычислительного комплекса и телекоммуникационной системы наземного базирования с электропитанием однофазным напряжением 220 В; 50 Гц и значением потребляемой мощности до 3–5 кВА рассмотрены некоторые возможные варианты повышения безотказности ТЭ. В части повышения бесперебойности электроснабжения особенностью предлагаемых решений является достижение поставленной цели путем дополнительного использования существующих ресурсов объектов установки РЭА.

В отдельных случаях предусматривается также их ограниченное увеличение.

Относительно повышения отказоустойчивости преобразовательной части ТЭ (СЭП РЭА) существенным вкладом в решение поставленной задачи являются:

- выбор эффективной структуры СЭП – деление на централизованную (ЦЧ) и распределенную части (РЧ);

- применение в ЦЧ СЭП магистрально-модульной архитектуры, а также адаптивных способов и алгоритмов управления и резервирования;
- применение в РЧ СЭП ряда современных технических решений по оптимизации структуры и минимизации количества составных частей.

Большинство компонентов предлагаемых решений являются известными и успешно апробированными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Либенко Ю. Н., Парфенов А. В. Основные аспекты организации системы управления информационной безопасностью предприятия // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 2. С. 70–76.
2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
3. ГОСТ Р 51275–2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.
4. ГОСТ Р 52863–2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2008. 33 с.
5. ГОСТ Р 51317.4.5–99 (МЭК 61000–4–5–95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. М.: Госстандарт России, 1999. 25 с.
6. ГОСТ Р 56093–2014. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Средства обнаружения преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. М.: Стандартинформ, 2015. 35 с.
7. ГОСТ Р 56115–2014. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Средства защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. М.: Стандартинформ, 2015. 42 с.
8. Четин А. Н. Оценка уровня безотказности системы вторичного электропитания с магистрально-модульной архитектурой // Доклады ТУСУР. Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2011. № 2 (24). Ч. 1. С. 253–257.
9. Колосов В. А., Либенко Ю. Н., Четин А. Н. СВЭП с повышенной надежностью для формирования промежуточных напряжений электропитания РЭА // Электропитание. № 1. 2009. С. 8–12.
10. Четин А. Н. Влияние структуры управляющей части на надежность системы электропитания // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 4. № 2. С. 162–170.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Либенко Юрий Николаевич, главный специалист, АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева», 117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, тел.: 8 (495) 330-06-38, e-mail: lib7636@rambler.ru.

Парфенов Андрей Валериевич, к.т.н., исполнительный директор, АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева», 117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, тел.: 8 (495) 335-83-72, e-mail: parfyonov@niivk.ru.

For citation: Libenko Yu. N., Parfenov A. V. The ways to improve reliability of power supply circuits of ground stationary objects electronic equipment. Voprosy radioelektroniki, 2018, no. 5, pp. 127–137. DOI 10.21778/2218-5453-2018-5-127-137

Yu. N. Libenko, A. V. Parfenov

THE WAYS TO IMPROVE RELIABILITY OF POWER SUPPLY CIRCUITS OF GROUND STATIONARY OBJECTS ELECTRONIC EQUIPMENT

Modern radio electronic equipment (REE) in various areas of economic activity performs increasingly complex tasks at sites with increased levels of responsibility. This circumstance increases the dependence of the operation of the REE on the uninterrupted power supply and its quality level, as well as on the level of fault tolerance of an important auxiliary part of the REE – power supply system (PSS), which significantly affects the ability of the REE to perform its tasks. The results of the analysis of existing and search for promising ways to ensure a given level of reliability of REE associated with its power supply problems show the need for an integrated approach to choosing the most effective option. It consists in the cumulative implementation of the process indicated by the newly introduced term «reliability of the power supply chain (PSC) of the REE», combining the continuity of supplying REE with electricity of the established level of quality and trouble-free operation of the PSS performing the conversion of the initial electricity to the form and the values of its parameters acceptable for the power supply of the functional units REE. Ways to improve the reliability of the PSC of the REE of ground stationary objects are considered for two of its characteristic types – a computer system (CS) and a telecommunication system (TS) with a single-phase voltage of 220V; 50Hz and the value

of power consumption to 3–5kW. In terms of increasing the continuity of electricity supply, the feature of the proposed solutions is the achievement of the set goal by additional use of existing resources of the facilities of the REE installation. In some cases, their limited increase is also envisaged. In order to increase the fault tolerance, the PSS REA suggests: in the centralized part of the PSS – the application of the trunk-modular architecture, the choice of the effective structure, and also the adaptive methods and algorithms for management and redundancy, in the distributed part of the PSS – optimization of the structure and minimization of the number of constituent parts.

Keywords: radio electronic equipment, quality of electric power, uninterrupted power supply of REE, reliability of the power supply system of REE, reliability of the power supply path of REE, power electromagnetic influences, dedicated power line.

REFERENCES

1. Libenko Yu. N., Parfenov A. V. Main aspects of the management system of information security management of company. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 2, pp. 70–76 (In Russian).
2. GOST 32144–2013. Elektricheskaja energija. Sovmestimost tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektrichesknoj jenergii v sistemah jelektronsnabzhenija obshhego naznachenija [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 15 p. (In Russian).
3. GOST R51275–2006. Zashhita informacii. Obekt informatizacii. Faktory, vozdejstvujushhie na informaciju. Obshhie polozhenija [Protection of information. Object of informatisation. Factors influencing the information. General]. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 7 p. (In Russian).
4. GOST R52863–2007. Zashhita informacii. Avtomatizirovannye sistemy v zashhishhennom ispolnenii. Ispytanija na ustojchivost k prednamerennym silovym jelektromagnitnym vozdeystvijam. Obshhie trebovanija [Protection of information. Protective automatically systems. Testing for stability to intentional power electromagnetic influence. General requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 33 p. (In Russian).
5. GOST R51317.4.5–99 (MEK 61000–4–5–95). Sovmestimost tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Ustojchivost k mikrosekundnym impul'snym pomeham bol'shoj jenergii. Trebovanija i metody ispytanij [Electromagnetic compatibility of technical equipment. Microsecond high energy pulse disturbance immunity. Requirements and test methods]. Moscow, Gosstandart Rossii, 1999, 25 p. (In Russian).
6. GOST R56093–2014. Zashhita informacii. Avtomatizirovannye sistemy v zashhishhennom ispolnenii. Sredstva obnaruzhenija prednamerennyh silovyh jelektromagnitnyh vozdeystvij. [Information protection. Protected operational systems. Means of detection of purposeful powerful electromagnetic impacts. General requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 35 p. (In Russian).
7. GOST R56115–2014. Zashhita informacii. Avtomatizirovannye sistemy v zashhishhennom ispolnenii. Sredstva zashhity ot prednamerennyh silovyh jelektromagnitnyh vozdeystvij [Information protection. Protected operational systems. Means of protection against purposeful powerful electromagnetic impacts. General requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 42 p. (In Russian).
8. Chetin A. N. Estimate of the level of reliability of the secondary power system with trunk-modular architecture. *Doklady TUSUR*. Izdatelstvo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta system upravleniyai radioelektroniki, Publ., 2011, no. 2 (24), ch. 1, pp. 253–257 (In Russian).
9. Kolosov V. A., Libenko Yu. N., Chetin A. N. PSS with increased reliability for formation of intermediate voltage of power supply of REE. *Elektropitanie*, no. 1, 2009, pp. 8–12 (In Russian).
10. Chetin A. N. The effect of the structure of the control part on the reliability of power supply system. *Voprosy radioelektroniki*, 2012, vol. 4, no. 2, pp. 162–170 (In Russian).

AUTHORS

Libenko Yuriy, chief specialist, M.A. Kartsev Scientific and Research Institute of Computing Systems, 108, Profsoyuznaya ulitsa, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 330-06-38, e-mail: lib7636@rambler.ru.

Parfenov Andrey, PhD, executive director, M.A. Kartsev Scientific and Research Institute of Computing Systems, 108, Profsoyuznaya ulitsa, Moscow, 117437, Russian Federation, tel.: +7 (495) 335-83-72, e-mail: parfyonov@niivk.ru.