

Сравнение доступности конфигураций с разной степенью избыточности

Информационная
статья № 48

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Краткий обзор

Для повышения доступности компьютерных систем используются промежуточные коммутаторы и дублированное распределение мощности на ИТ-оборудование. Методы статистического анализа доступности свидетельствуют о различной степени доступности при использовании разных методов дублирования. В этой статье рассматриваются различные электрические структуры для обеспечения избыточности, которые реализованы в современных средах, требующих безотказной работы. Затем приводится анализ эффективности разных сценариев и предлагаются результаты. Благодаря анализу определяется подход, позволяющий обеспечить оптимальную общую производительность, а также предоставляется возможность сравнить варианты с точки зрения эффективности и ценности.

Введение

Оборудование с резервными источниками питания относится к оборудованию, имеющему резервные источники питания с отдельными кабелями питания. Использование двухкабельного оборудования является лучшим способом поддержания оптимальной эффективности питания для ИТ-оборудования. При использовании такого оборудования существует необходимая избыточность, позволяющая предотвратить простой при однократном сбое в системе распределения питания. Такая избыточность также облегчает обслуживание системы электропитания. К сожалению, для большинства современных сред, требующих безотказной работы, преимущества этого метода полностью не используются. В данной статье представлены различные сценарии создания электрических схем, которые можно реализовать в современном центре обработки данных. Затем приводится анализ эффективности разных сценариев и предлагаются результаты.

Принципы распределения питания на стойки

На следующих рисунках представлены различные способы упрощения доступа к оборудованию, монтируемому в стойке. Их можно также использовать и для автономного оборудования. Для достижения желаемого уровня доступности используются различные подходы. По-видимому, дорогостоящие методы обеспечивают повышенный уровень доступности. На рисунках 1 и 2 показано, каким образом сегодня осуществляется распределение электропитания в центре обработки данных, монтируемом в стойку.

Рис. 1. Обычное распределение электропитания в оборудовании, монтируемом в стойку

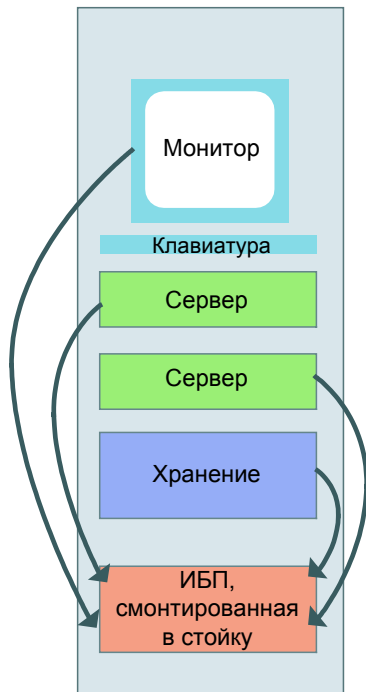
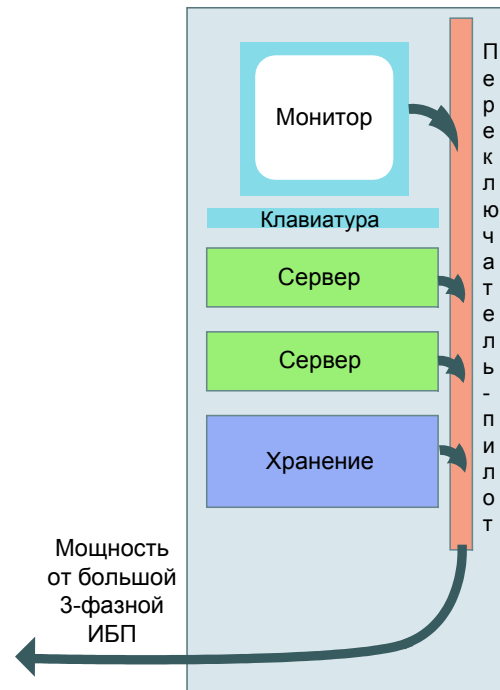


Рис. 2. Обычное централизованное распределение электропитания



На рисунке 1 представлена обычная конфигурация распределения электропитания в стойке, которая используется в малых и средних центрах обработки данных, а также в кабельных шкафах. Такая конфигурация предусматривает свободно перемещаемые стойки с внутренним бесперебойным питанием на ИБП и защитой от перенапряжения. В центрах обработки данных, в которых используются десятки или сотни стоек, наиболее распространенной конфигурацией является крупный централизованный ИБП, представленный на рисунке 2. В любом случае при распределении электроэнергии в стойку избыточность электроснабжения отсутствует.

В других электрических архитектурах используются устройства для переключения с основного источника электропитания на вторичный. Такими устройствами являются электронный промежуточный коммутатор (STS) и устройство автоматического выбора линии (ATS). Мощность обоих устройств варьируется от 1 кВт до 1 МВт и выше. Подробное описание этих устройств представлено в информационной статье APC № 62 "Powering Single Corded Equipment in a Dual Path Environment" (Электропитание однокабельного оборудования в двухкабельной среде). Ниже представлены примеры таких переключателей.



3-фазная ATS мощностью 6 кВА, монтируемая в стойку



3-фазный электронный промежуточный коммутатор (STS) - 300 кВА

На рисунках 3 и 4 показано, как иногда осуществляется распределение электроэнергии в крупных объектах, требующих безотказной работы. В обоих случаях существует два резервных пути к STS, однако источники питания ИБП не обязательно будут резервными. Это зависит от таких факторов, как стоимость и степень доступности подстанции с коммунального предприятия. Единственное различие между двумя сценариями состоит в том, что на рисунке 3 показано использование выхода отдельного трансформатора электронного коммутатора, а на рисунке 4 - использование входа резервного трансформатора электронного коммутатора. Однако в обоих случаях STS, выход монтажной панели и соответствующее кабельное соединение являются единственными уязвимыми участками. Эти методы обеспечивают определенную избыточность, однако в оставшихся компонентах, не имеющих избыточности, существуют опасности сбоя и потенциальные трудности при обслуживании.

Рис. 3. Избыточность для нагрузки с STS



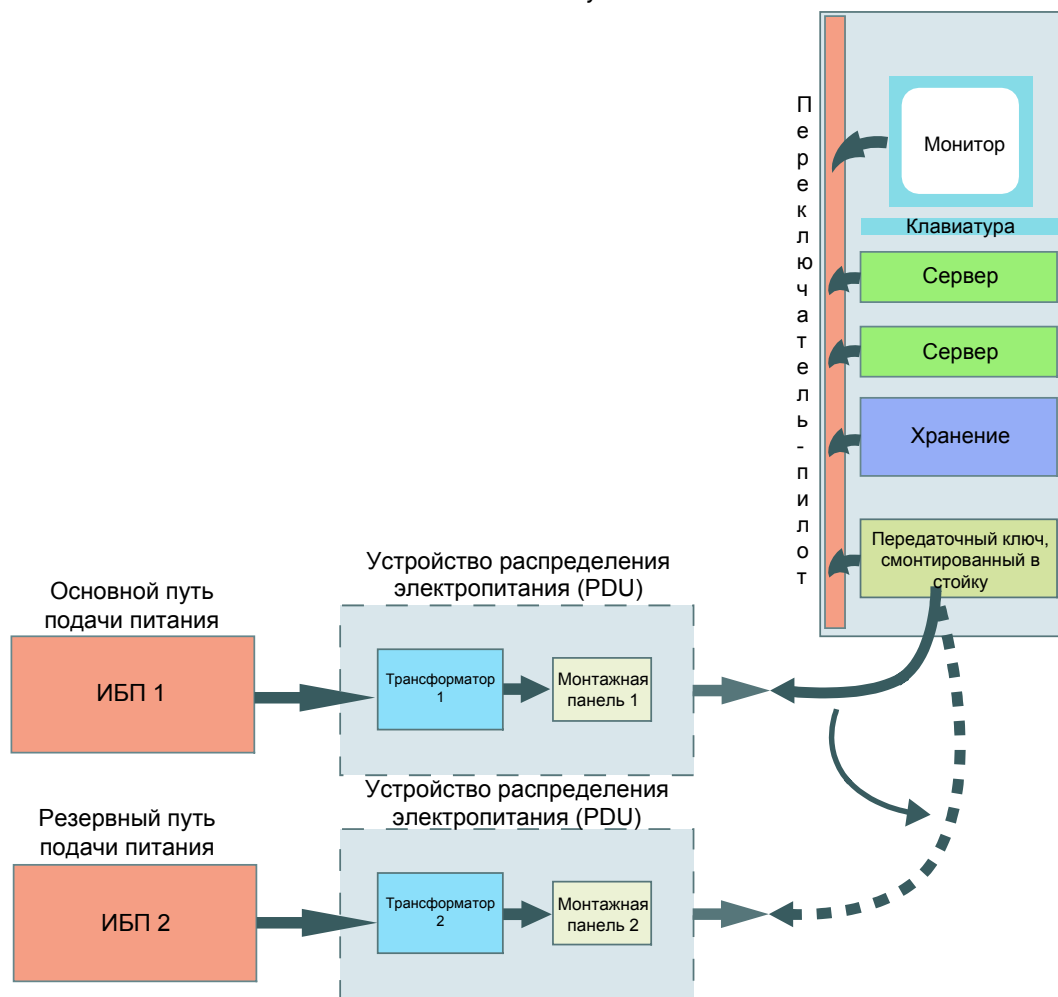
Рис. 4. Избыточность для нагрузки с STS (резервные трансформаторы)



На рисунках 3 и 4 представлены более усовершенствованные варианты конфигурации центра обработки данных по сравнению с рисунками 1 и 2; хотя и они не обеспечивают достаточной избыточности для оборудования, смонтированного в стойку. Несмотря на то, что добавлен резервный ИБП и трансформатор, электронный коммутатор, монтажная панель и соответствующее кабельное соединение являются единственными уязвимыми участками.

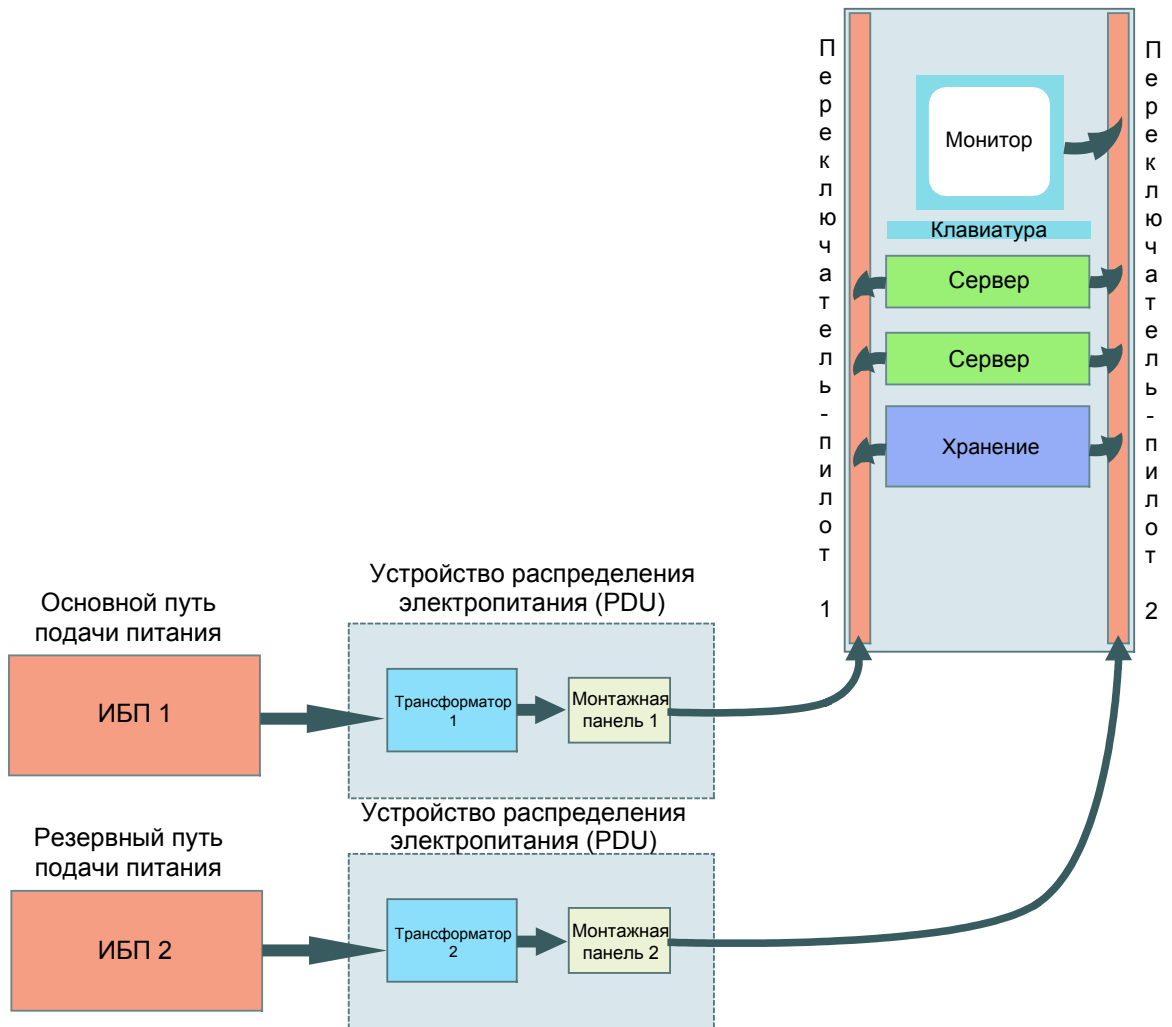
На рисунке 5 представлены отдельные точки ограничения аварийной ситуации, показанные на рисунках 3 и 4, при увеличении избыточности нагрузки. В этом случае STS не требуется, но добавляется дополнительная монтажная панель. При этом благодаря автоматизированной испытательной системе для монтажа в стойку (ATS) преимущества избыточности при нагрузке еще более возрастают. Теперь можно выполнить обслуживание любой автоматизированной испытательной системы для монтажа в стойку без уменьшения нагрузки. Хотя в этом сценарии представлено меньше компонентов, не имеющих избыточности, чем в сценарии, показанном на рисунках 3 и 4, ATS остается единственным уязвимым участком, как и в случае с собственным источником электропитания оборудования.

Рис. 5. Избыточность для нагрузки с автоматизированной испытательной системой для монтажа в стойку



На рисунке 6 показано, как можно достичь полной избыточности по отношению к нагрузке при использовании двухкабельного оборудования с резервными источниками электропитания. В этом сценарии имеется два отличия от сценария рисунка 5: отсутствует ATS и используется двухкабельное оборудование. Полная избыточность теперь достигается при нагрузке. Следует обратить внимание, что для обеспечения избыточности используется дополнительный переключатель-пилот. Это решение имеет высокую степень доступности по сравнению с описанными выше; однако это самое дорогое решение и его можно использовать только в двухкабельном оборудовании, специально разработанном для этой цели.

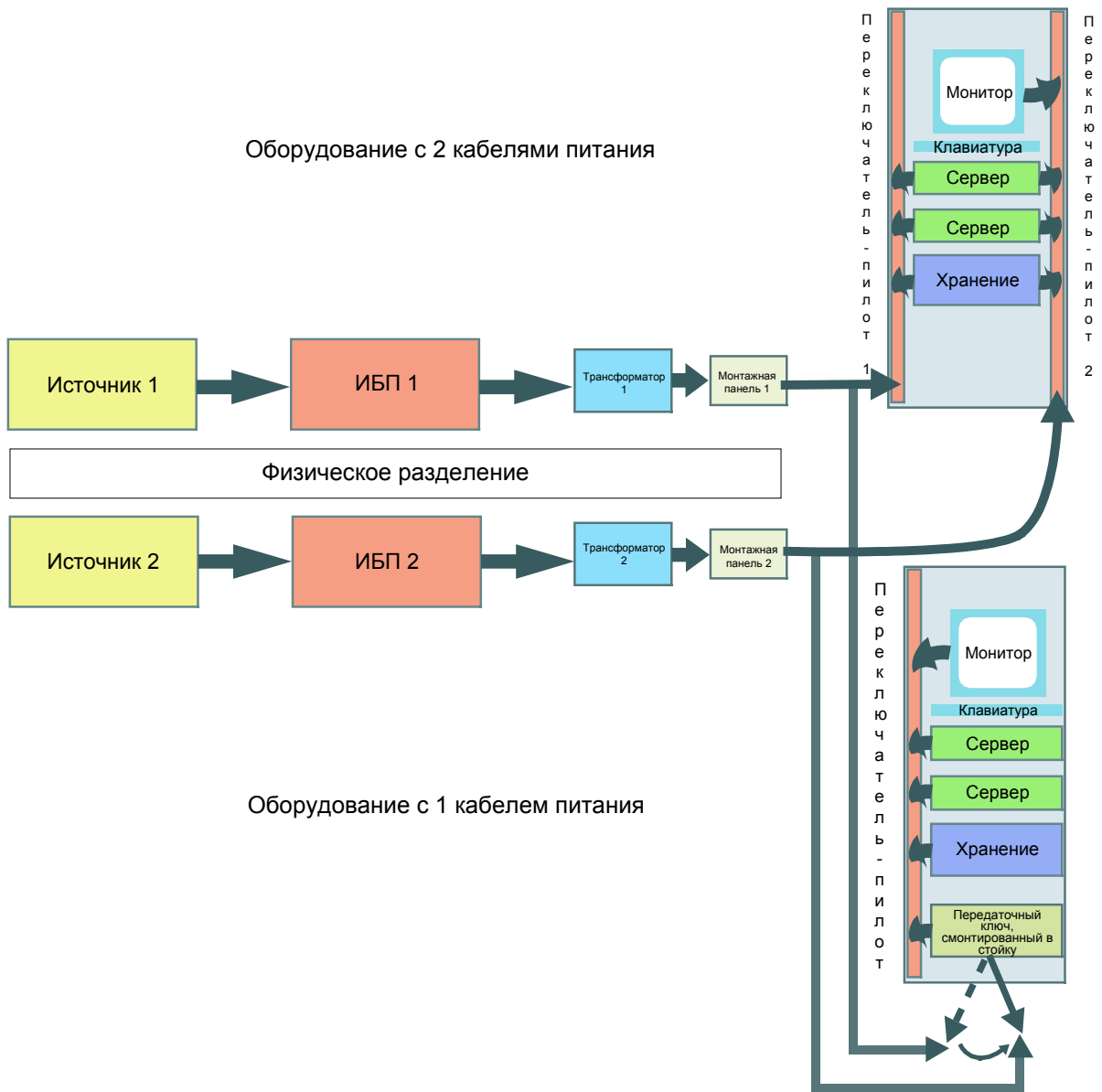
Рис. 6. Избыточность для нагрузки при использовании двухкабельного оборудования



Архитектура, представленная на рисунке 7, объединяет в себе архитектуры, изображенные на рисунках 5 и 6, и демонстрирует альтернативное решение, подходящее для нагрузки как с одним, так и двумя кабелями питания. Это решение представляет собой комбинацию ранее рассмотренных конструкций. Обеспечена полная избыточность электроснабжения для двухкабельного компьютерного оборудования. Для оборудования с одним кабелем обеспечивается избыточность вплоть до ATS, однако переключатель и источники питания оборудования теперь являются единственными уязвимыми участками.

На рисунке 7 также представлено добавленное физическое разделение. Оно также известно как “секционирование”, при котором различные подсистемы в пределах системы распределения электропитания и источников бесперебойного питания физически разделены. Если физическое разделение выполнено правильно, то даже при механическом разрушении одного маршрута можно предотвратить сбой во втором маршруте (обычный сбой).

Рис. 7. Резервная архитектура для нагрузки с одним и двумя кабелями питания



Архитектуры, представленные на рисунках 3, 4, 5 и 7, имеют промежуточные коммутаторы. Если промежуточный коммутатор является достаточно крупным, при сбое может выйти из строя значительная часть оборудования. Если же коммутатор небольшой, из строя выйдет только одна стойка. Иногда сбой в одной стойке может иметь такие же последствия, как сбой в 50 стойках. В других случаях изоляция одной стойки уже является преимуществом. В последнем случае ATS дает больше преимуществ для локализации сбоев.

Еще одним фактором, который следует принимать во внимание, является время, необходимое для ремонта этих переключателей. Небольшой промежуточный коммутатор не подлежит ремонту, он является запасной деталью, которую можно очень быстро заменить. Кроме того, при необходимости его можно быстро заблокировать. Более крупный коммутатор требует ремонта; может потребоваться несколько часов, чтобы специалист по ремонту смог добраться до места, где расположен коммутатор. Определенное время потребуется для выполнения диагностики и ремонта системы. А если у технического специалиста нет под рукой требуемой детали, то времени потребуется еще больше. Таким образом, при оценке некоторых усовершенствованных конструкций следует выбирать оптимальное решение. В следующем разделе описывается статистическая модель доступности и время, необходимое для ремонта.

Обычно оборудование, в котором имеется только один кабель питания, может быть значительной помехой при создании среды, требующей безотказной работы и высокой степени доступности. Это относится не только к оборудованию, смонтированному в стойку, но и к любой среде, требующей безотказной работы. Если даже конструкция удачна, любой уязвимый участок в системе может в конце концов привести к сбою и простоя оборудования. Если имеется потребность в оборудовании с высокой степенью доступности, при распределении электропитания следует свести к минимуму количество отдельных уязвимых участков или избавиться от них совсем.

Анализ доступности

Анализ доступности выполняется с целью количественной оценки эффективности для устройств с одним или двумя кабелями питания. Следует выполнить пять анализов доступности:

- Пример 1 - нагрузка на один кабель на рисунке 2
- Пример 2 - нагрузка на один кабель с электронным промежуточным коммутатором на рисунке 3 (один трансформатор)
- Пример 3 - нагрузка на один кабель с электронным промежуточным коммутатором на рисунке 4 (резервные трансформаторы)
- Пример 4 - нагрузка на один кабель с ATS на рисунке 5
- Пример 5 - нагрузка в двухкабельной системе (рисунок 6)

Линейный комбинаторный анализ, также известный как блок-схемы надежности (RBD), используется для того, чтобы проиллюстрировать доступность электропитания на выходе для этих пяти конфигураций. Этот метод моделирования системы является наиболее последовательным и применяется в системах с небольшим количеством переходов. Линейный комбинаторный анализ выполняется с помощью определенных данных о надежности. Затем разрабатывается модель системы, конфигурация которой должна анализироваться. Поскольку данный анализ направлен на изучение различий между конфигурациями, предполагается, что каждый вход системы ИБП, включая электрическую сеть, является совершенным. Поэтому приведенные здесь уровни доступности будут выше, чем при реальной установке.

Подробные сведения об анализе представлены в приложении.

Данные, используемые при анализе

Большая часть данных, используемых для моделирования компонентов, представлена сторонними источниками. Данные для ATS основаны на сведениях, полученных в ходе испытаний этой системы APC, на протяжении примерно 5 лет используемой на рынке и установленной на многих предприятиях. В настоящем анализе внимание уделяется следующим ключевым компонентам.

1. Контакты
2. Автоматические выключатели
3. Системы ИБП
4. Устройство распределения электропитания (PDU)
5. Электронный промежуточный коммутатор (STS)
6. ATS

Устройство распределения питания (PDU) состоит из трех основных компонентов: автоматических выключателей, понижающего трансформатора и контактов. При оценке монтажной панели предполагается, что один главный автоматический выключатель, один выключатель ответвленной цепи и контакты соединены последовательно. ATS используется только в примере 4. В приложении указаны

значения и источники данных об интенсивности сбоев $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$ и скорости восстановления,

$\left(\frac{1}{MTTR}\right)$ для каждого подкомпонента, где MTTF - это среднее время до сбоя, а MTTR - это среднее время восстановления.

Данные об интенсивности сбоев и скорости восстановления, необходимые для проведения анализа, приведены в приложении.

Допущения, используемые при анализе

Как и при любом анализе доступности, для создания действующей модели требуется сделать допущения. В таблице 1 приведены основные допущения, используемые в этом анализе.

Таблица 1 - допущения, используемые при анализе

Допущение	Описание
Частота сбоев компонентов	Все компоненты, участвующие в анализе, демонстрируют постоянную частоту сбоев. Это самое оптимистичное допущение, основанное на том, что все оборудование будет использоваться только в течение указанного проектного срока эксплуатации. Если бы продукты использовались дольше, при определении частоты сбоев потребовалось бы вводить нелинейность.
Ремонтные группы	Предполагается, что ремонт "n" последовательных компонентов могут выполнить "n" ремонтников.
Системные компоненты продолжают работать	Предполагается, что, в то время как осуществляется ремонт вышедших из строя компонентов, все компоненты внутри системы продолжают работать.
Независимость сбоев	В этих моделях предполагается, что описанная архитектура выстроена в соответствии с оптимальными методами, используемыми в отрасли. Фактически, это приводит к малой вероятности возникновения и распространения сбоев, вызванных обычными причинами, благодаря физической и электрической изоляции.
Интенсивность отказов электропроводки	Кабели, соединяющие компоненты архитектуры, не рассматривались при подсчете, поскольку интенсивность отказов в электропроводке является слишком низкой, чтобы ее можно было предсказать с точностью и статистической достоверностью. Кроме того, предыдущая работа показала, что столь низкая частота отказов практически не влияет на общую доступность. Тем не менее, были учтены основные контакты.
Ошибка, связанная с человеческим фактором	Простой, вызванный ошибками персонала, не учитывался в настоящем анализе. Хотя это и является значительной причиной простоя центра обработки данных, цель создания настоящих моделей несколько иная: она заключается в сравнении архитектуры инфраструктуры питания и определении "физических недостатков" этой архитектуры. Кроме того, данные о влиянии человеческих ошибок на доступность отсутствуют.
Доступность питания - это ключевой показатель	В настоящем анализе представлена информация относительно доступности питания. Доступность бизнес-процессов обычно будет ниже, поскольку после восстановления питания восстановление доступности бизнеса происходит не сразу. Обычно ИТ-системам требуется время для перезапуска, что увеличивает период, в течение которого система остается недоступной. Это время не учитывается в настоящем анализе.
Отсутствие преимуществ локализации сбоев	Сбой в любой из стоек считается сбоем и является эквивалентным одновременному сбою всех стоек. На некоторых предприятиях сбой одной стойки влечет за собой не столь значительные последствия для бизнеса по сравнению со сбоем всех стоек. В этом случае анализ преуменьшает преимущества примеров 5 и 6.

Результаты

Важно понимать, что цель этого анализа - сравнить доступность в различных примерах с теоретической точки зрения. Поскольку для всех компонентов в пяти примерах применяются одинаковые данные об интенсивности отказов, единственными различиями в каждом случае будут количество, MTTR и расположение компонентов. Этот метод весьма удачно демонстрирует доступность одной архитектуры по сравнению с другой.

Доступность измеряется по выходам питания для обеспечения критической нагрузки. В каждом примере используются одинаковые данные о надежности компонентов. В примере 1 сбой любого компонента в цепи приведет к падению нагрузки. Это основной пример.

В примерах 2 и 3 для возникновения сброса нагрузки достаточно одновременного отказа компонентов из резервных маршрутов. Однако сброс нагрузки произойдет также и при отказе любого единичного компонента на выходе STS, включая STS. Примечательно в данном случае то, что установка STS незначительно повышает доступность системы. Причина заключается в том, что STS не намного надежнее, чем входной ИБП, и STS является единственным уязвимым участком. Кроме того, обратите внимание, что в примере 2 MTTR трансформатора сводит к минимуму все преимущества STS.

В примере 4 для возникновения сброса нагрузки достаточно одновременного отказа компонентов из резервных маршрутов. Несмотря на единственный уязвимый участок, MTTR автоматизированной испытательной системы для монтажа в стойку будет достаточно коротким благодаря тому, что быстрое восстановление возможно при наличии запасной детали. Главный вывод в данном случае заключается в том, что более низкое значение MTTR является значительным преимуществом с точки зрения доступности, несмотря на то что ATS не обязательно надежнее крупной системы STS.

В примере 5 для возникновения сброса нагрузки достаточно одновременного отказа компонентов из резервных маршрутов. В таблице 2 представлен обзор результатов для пяти расчетов доступности.

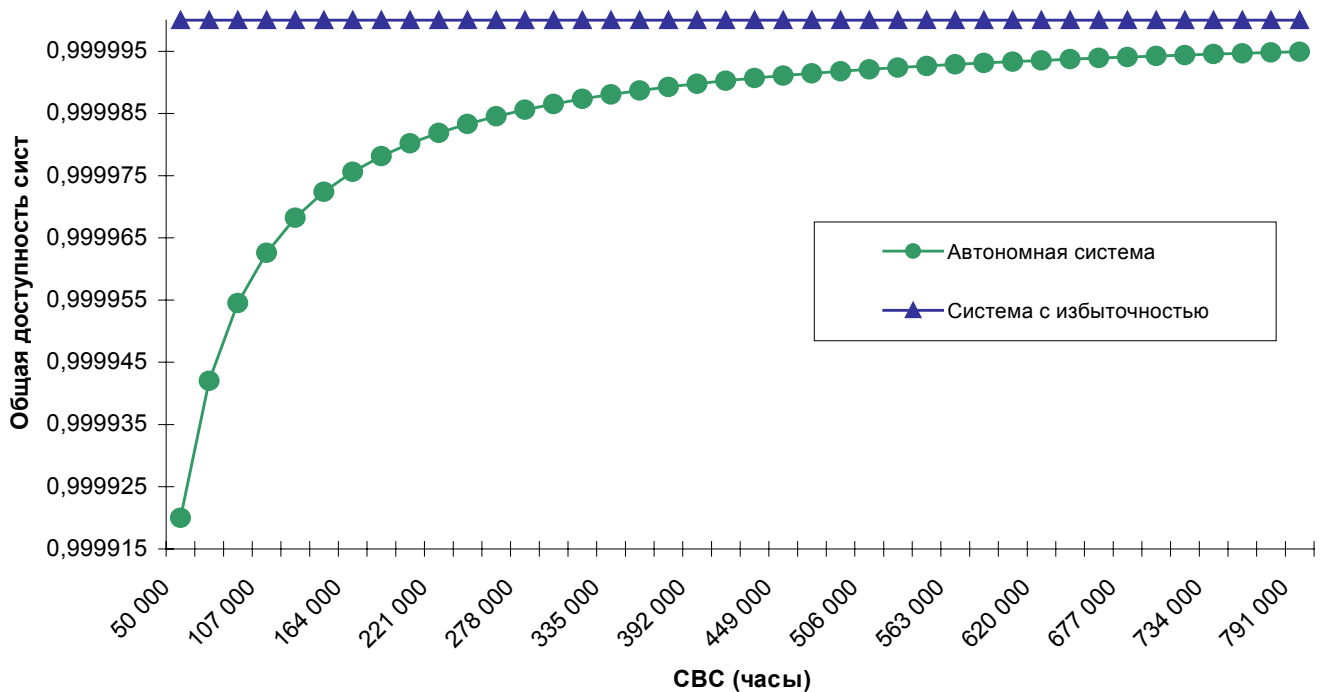
Таблица 2 - краткий обзор результатов доступности

Пример	Конфигурация	Доступность	Количество "9"
Пример 1	Нагрузка на один кабель	99,985 %	3,8
Пример 2	Нагрузка на один кабель с STS (один трансформатор)	99,98596 %	3,85
Пример 3	Нагрузка на один кабель с STS (резервные трансформаторы)	99,99715 %	4,5
Пример 4	Нагрузка на один кабель с ATS	99,999931 %	6,2
Пример 5	Нагрузка в двухкабельной системе	99,999977 %	7,6

Этот анализ иллюстрирует значимость двухкабельного оборудования при достижении уровня высокой доступности в рамках двусторонней электрической архитектуры. Преимущества такой сложной конструкции в оборудовании с одним кабелем питания реализованы не полностью, однако при внедрении ATS степень реализации повышается.

Описанные выше результаты показывают, что по отношению к нагрузке избыточность повышает доступность. На рисунке 8 показано, что даже при 10-кратном увеличении надежности изделия (значения МТТФ) все равно невозможно достичь такого же уровня доступности, как при использовании нескольких условий избыточности при более низком уровне надежности. Система с избыточностью обеспечивает почти 100 % доступности и высокую степень надежности.

Рис. 8. Доступность через МТТФ



Выводы

При внедрении архитектуры с высокой степенью доступности следует тщательно продумать систему распределения электропитания в стойке. Обычные типы распределения электропитания, описанные в данной статье, различаются в 10 000 раз по степени влияния простоя, возникающего при их использовании.

Этот анализ наглядно демонстрирует важность использования двухкабельного оборудования в центре обработки критических данных. Анализ показывает, что при использовании полной двухкабельной архитектуры время сбоя можно сократить в 10 000 раз по сравнению с использованием конструкции с одним кабелем.

Распространенная практика использования промежуточных коммутаторов с целью увеличения степени доступности в системе с нагрузкой на один кабель приводит к чрезвычайно непостоянным результатам. Эти результаты зависят от способа реализации. В некоторых случаях анализ свидетельствует о том, что использование крупных STS не дает почти никаких преимуществ. И наоборот, если промежуточный коммутатор поместить в стойку, то время простоя, который возник по вине системы распределения электропитания, можно уменьшить в 250 раз.

Кроме того, промежуточный коммутатор, монтируемый в стойку, позволяет к тому же локализовать отказ, так как сбой ограничен всего лишь одной стойкой. Более того, силовой промежуточный коммутатор, монтируемый в стойку, можно использовать при необходимости в двухкабельном оборудовании.

Данные показывают, что обычная практика использования крупных систем STS для питания нагрузок с одним кабелем должна быть переоценена, и что силовые переключатели на базе стойки имеют важные преимущества при соизмеримых затратах.

Как правило, анализ предлагает общий принцип построения избыточности, близкий к нагрузкам для увеличения доступности.

Необходимым условием перед инвестированием в любую систему высокой доступности должен быть тщательный анализ. Выбор решения зависит от средств, которые клиент может потратить на усиление электрической инфраструктуры. Чтобы подсчитать стоимость времени простоя, клиент должен иметь четкое представление о бизнес-процессах. Эта стоимость в итоге должна стать ориентиром, указывающим на то, какие средства должны быть направлены на повышение доступности.

Приложение

Компоненты и значения

Компонент	Частота сбоев	Скорость восстановления	Источник данных	Комментарии
ИБП 675 кВт / 750 кВА	4,0000E-06	0,125	Частота сбоев взята из журнала Power Quality Magazine; значение скорости восстановления основано на допущении, что специалисту по техническому обслуживанию потребуется 4 часа, чтобы прибыть на место, и еще 4 часа, чтобы отремонтировать систему	• Используется для подачи питания от бесперебойного источника переменного тока 480 В к устройству распределения электропитания.
Электронный промежуточный коммутатор (STS)	4,1600E-06	0,1667	Gordon Associates - Raleigh, NC (г. Роли, Северная Каролина)	• Включает элементы управления
Понижающий трансформатор	7,0776E-07	0,00641	Значение MTBF взято из книги IEEE Gold Book Std 493-1997, стр. 40, а MTTR - это среднее значение, предоставленное компаниями Marcus Transformer Data	• Используется для понижения питания на входе от 480 В перем. тока до 208 В перем. тока на выходе, что необходимо для нагрузок 120 В перем. тока.
Автоматический выключатель	3,9954E-07	0,45455	Книга IEEE Gold Book Std 493-1997, стр. 40	• Используется для изоляции компонентов от электропитания во время технического обслуживания или ограничения распространения последствий неисправности.
6 контактов	8,6988E-008	0,26316	Значение 6 x IEEE. Рассчитано на основе значения из книги IEEE Gold Book Std 493-1997, стр. 41	• Вход трансформатора, у каждого провода имеется один контакт. Поскольку у компонентов имеется 2 комплекта контактов, используется всего шесть контактов.

Компонент	Частота сбоев	Скорость восстановления	Источник данных	Комментарии
8 контактов	1,1598E-007	0,26316	Значение 8 x IEEE Рассчитано на основе значения из книги IEEE Gold Book Std 493-1997, стр. 41	• Выход трансформатора, у каждого провода имеется один контакт и нейтраль. Поскольку у компонентов имеется 2 комплекта контактов, используется всего восемь контактов.
ATS	2,0E-06	3	Данные об использовании переключателей Redundant Switch компании APC	• Рассчитано, что MTTF автоматизированной испытательной системы для монтажа в стойку компании APC составляет 1 миллион часов. Было использовано более низкое значение - 500 000 часов.

Доступность нагрузки на один кабель [Пример 1]

Доступность для нагрузки в системе с одним кабелем питания (рис. 2) вычисляется на основе следующей блок-схемы надежности (RBD). На рисунке 9 представлен верхний уровень блок-схемы надежности, на котором рассчитывается доступность стабильного состояния на основе последовательных компонентов. Блок-схема надежности включает в себя блоки "с возможностью наращивания" для "Деталей трансформатора" и "Деталей монтажной панели". Блок с возможностью расширения означает, что существует более низкий уровень блок-схемы надежности, который определяет ее вспомогательные компоненты. Подобная раскладка блок-схемы надежности упрощает расчеты доступности. Монтажная панель используется для распределения питания непосредственно на оборудование, требующее безотказной работы. Содержимое этих блоков представлено на рисунках 10 и 11.

Рис. 9. Нагрузка на один кабель

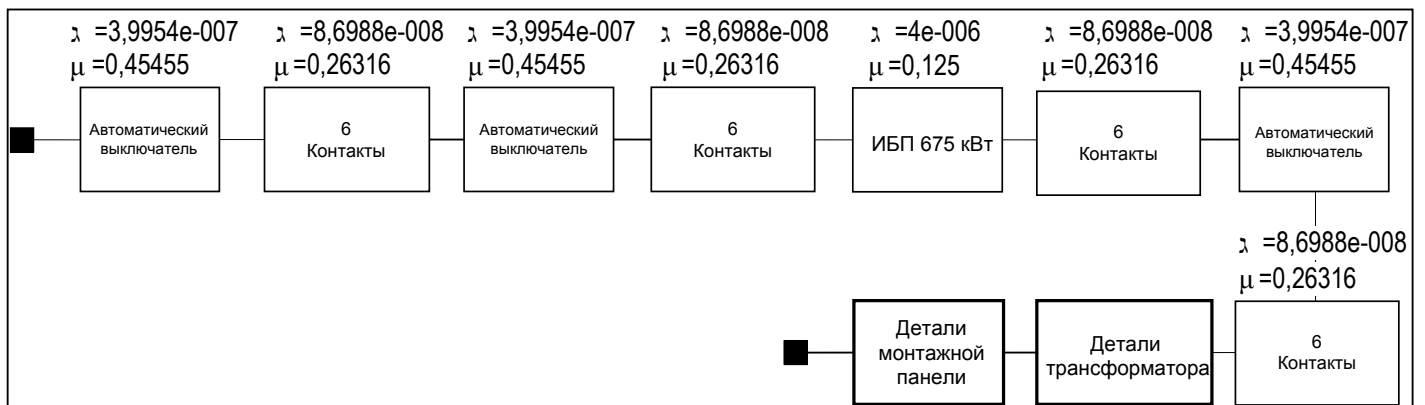


Рис. 10. Детали трансформатора

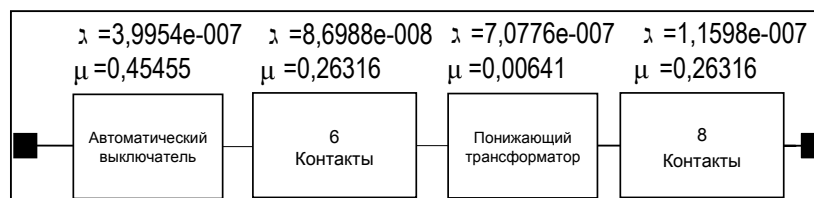
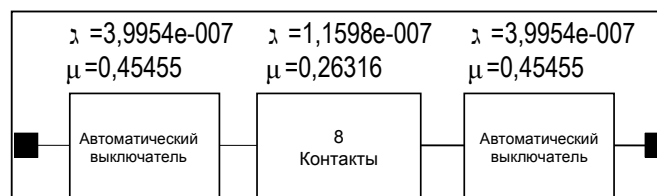


Рис. 11. Детали монтажной платы



В соответствии с представленной выше блок-схемой надежности (RBD) ниже показана доступность системы с одним кабелем.

Доступность нагрузки на один кабель [Пример 1]

Модель- Название	Доступность	Недоступность	MTTR (часы)	MTTF (часы)	Ежегодный простой (часы)
Нагрузка на один кабель	99,98498 %	1,5021E-04	19,3	128 665	1,3158
Система ИБП	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Детали трансформатора	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Детали монтажной панели	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Так как анализ проводится с использованием данных с пятью значащими цифрами, другим способом выражения результатов является недоступность. Недоступность просто рассчитывается как (1 - Доступность).

Доступность нагрузки на один кабель с STS (один трансформатор) [Пример 2]

Способ распределения (рисунок 3), в котором используется STS, обеспечивает избыточность для каждого входа, кроме трансформатора, расположенного на выходе. Доступность этого сценария рассчитывается на основе 7 строк блок-схемы надежности, которые приводятся здесь для ясности. На рисунке 12 изображен верхний уровень блок-схемы надежности. Блок "Система ИБП" - один из двух блоков, который обозначает, что все компоненты внутри этого блока являются резервными. На рисунке 13 показано содержимое блока "Система ИБП".

Рис. 12. Нагрузка на один кабель с STS

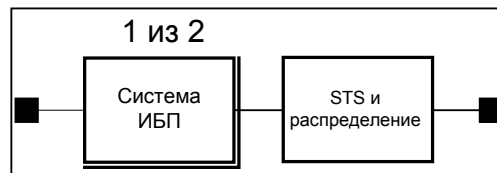
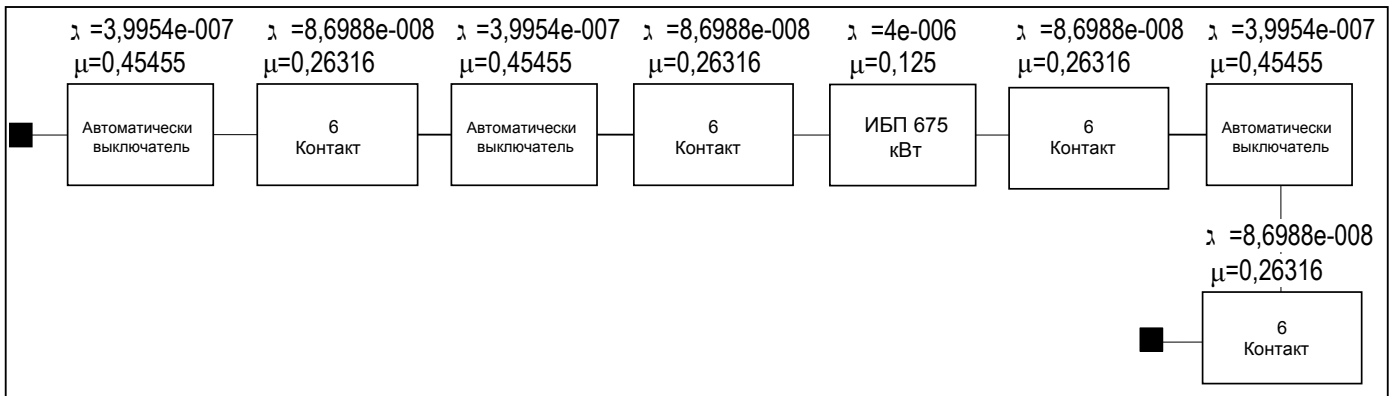


Рис. 13. Система ИБП



Все входы STS являются резервными, однако содержимое блока “STS и распределение”, показанного на рисунке 12, является единственным уязвимым участком. Как показано на рисунке 14, блок “STS и распределение” содержит систему STS, детали трансформатора и детали монтажной платы. Система STS позволяет использовать входные избыточные компоненты. Эта система содержит автоматические выключатели, контакты и, что более важно, электронный промежуточный коммутатор (STS). Блок-схема надежности системы STS изображена на рисунке 15.

Рис. 14. STS и распределение

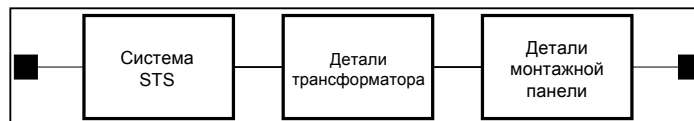


Рис. 15. Система STS



Содержимое блоков “Детали трансформатора” и “Детали монтажной платы” рисунка 14 рассмотрены далее на рисунках 16 и 17

Рис. 16. Детали трансформатора

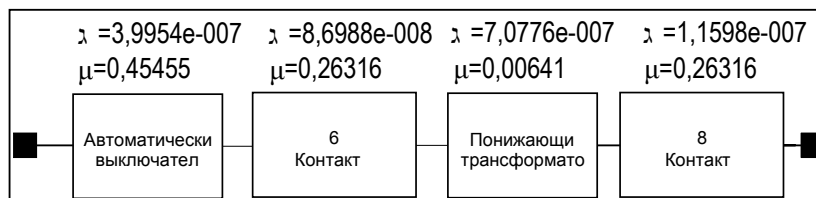
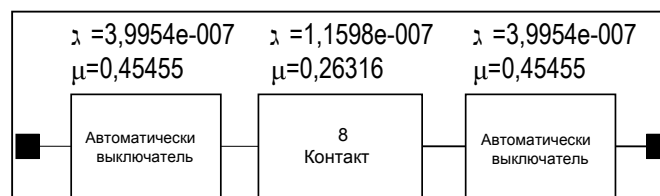


Рис. 17. Детали монтажной платы



В соответствии с представленными выше блок-схемами надежности (RBD) ниже показана доступность системы с одним кабелем вместе с STS и одним трансформатором.

Доступность нагрузки на один кабель с STS (один трансформатор) [Пример 2]

Модель- Название	Доступность	Недоступность	MTTR (часы)	MTTF (часы)	Ежегодный простой (часы)
Нагрузка на один кабель с STS (1 Трансформатор)	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145 513	1,23002
Система ИБП	99,9999987 %	1,2930E-09	6,5	5 025 125 628	0,00001
Одиночный ИБП	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
STS и распределение	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145 518	1,23001
Система STS	99,99738 %	2,6164E-05	5,6	215 214	0,22920
Детали трансформатора	99,98879 %	1,1205E-04	85,53	763 201	0,98158
Монтажная панель Детали	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Доступность нагрузки на один кабель с STS (резервные трансформаторы) [Пример 3]

Способ распределения (рисунок 4), в котором используется STS, обеспечивает избыточность для каждого входа, включая трансформатор, расположенный на выходе. Доступность этого сценария рассчитывается на основе 7 строк блок-схемы надежности, как и в предыдущем анализе. На рисунке 18 изображен верхний уровень блок-схемы надежности. Блок “Система ИБП и трансформатор” - один из двух блоков, который обозначает, что все компоненты внутри этого блока являются резервными. На рисунке 19 показано содержимое блока “Система ИБП и трансформатор”. Блок “Детали трансформатора” состоит из тех же деталей, что и блок, рассмотренный на рисунке 16. До этого момента каждый компонент был резервным, однако содержимое блока “STS и распределение”, показанного на рисунке 18, является единственным уязвимым участком.

Рис. 18. Нагрузка на один кабель с STS

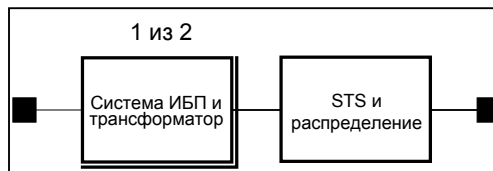
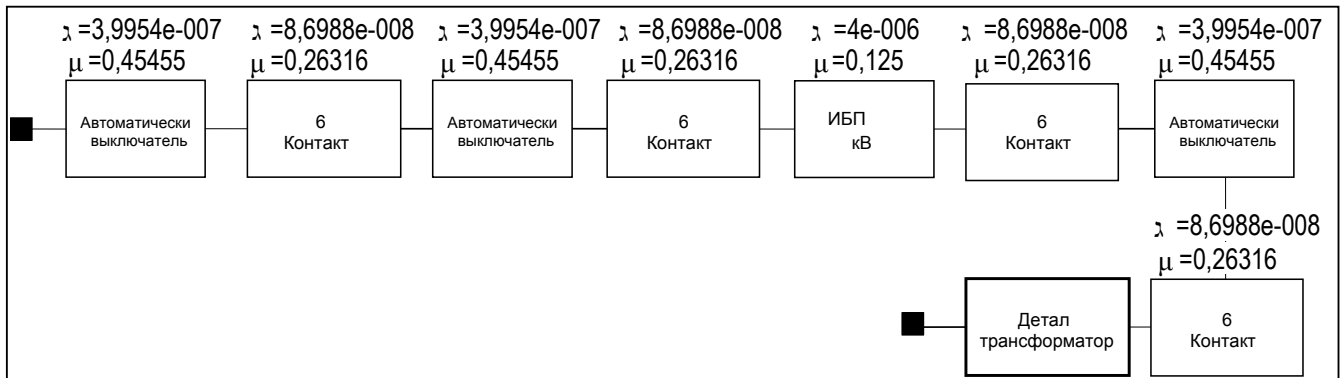


Рис. 19. Система ИБП и трансформатор



В данном случае содержимое блока “STS и распределение” (рисунок 20) содержит только систему STS и детали монтажной панели, так как трансформатор задан на входе как резервный компонент. Блок “Система STS” в этом сценарии идентичен блоку на рисунке 16 за исключением того, что у него 8 контактов, а не 6 (рисунок 21). Компоненты блока “Детали монтажной платы” идентичны компонентам, указанным на рисунке 17.

Рис. 20. STS и распределение

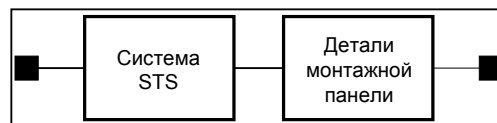
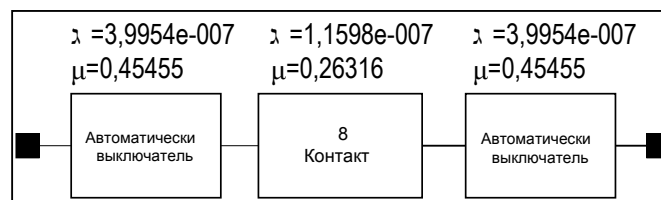


Рис. 21. Система STS



В соответствии с представленными выше блок-схемами надежности ниже показана доступность системы с одним кабелем вместе с STS и резервными трансформаторами.

Доступность нагрузки на один кабель с STS (резервные трансформаторы) [Пример 3]

Модель-Название	Доступность	Недоступность	MTTR (часы)	MTTF (часы)	Ежегодный простой (часы)
Нагрузка на один кабель с STS (2 трансформатора)	99,99715 %	2,8495E-05	5,1	178 839	0,24961
Система ИБП и трансформатор	99,9999978 %	2,1906E-08	21,6	985 221 675	0,00019
Система ИБП	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Трансформатор Детали	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
STS и распределение	99,99715 %	2,8473E-05	5,1	178 872	0,24942
Система STS	99,99737 %	2,6274E-05	5,6	213 880	0,23016
Монтажная панель Детали	99,99978 %	2,19867E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Доступность нагрузки на один кабель с автоматизированной испытательной системой для монтажа в стойку [Пример 4]

Анализ нагрузки в однокабельной системе с ATS (Рис. 5) осуществляется на основе блок-схемы надежности на рисунке 22, представляющей верхний уровень блок-схемы надежности. Теперь эта модель обеспечивает избыточность стойки, однако ATS становится единственным уязвимым участком. На рисунке 23 изображены детали блока “Система ИБП и распределение”. Содержимое блоков “Детали трансформатора” и “Детали монтажной платы” идентично содержимому блоков на рисунках 16 и 17 соответственно.

Рис. 22. Нагрузка на один кабель с ATS

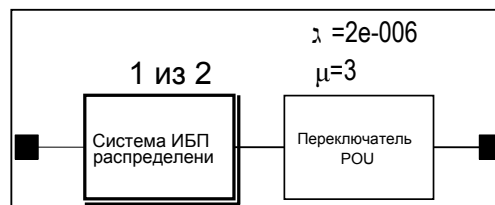
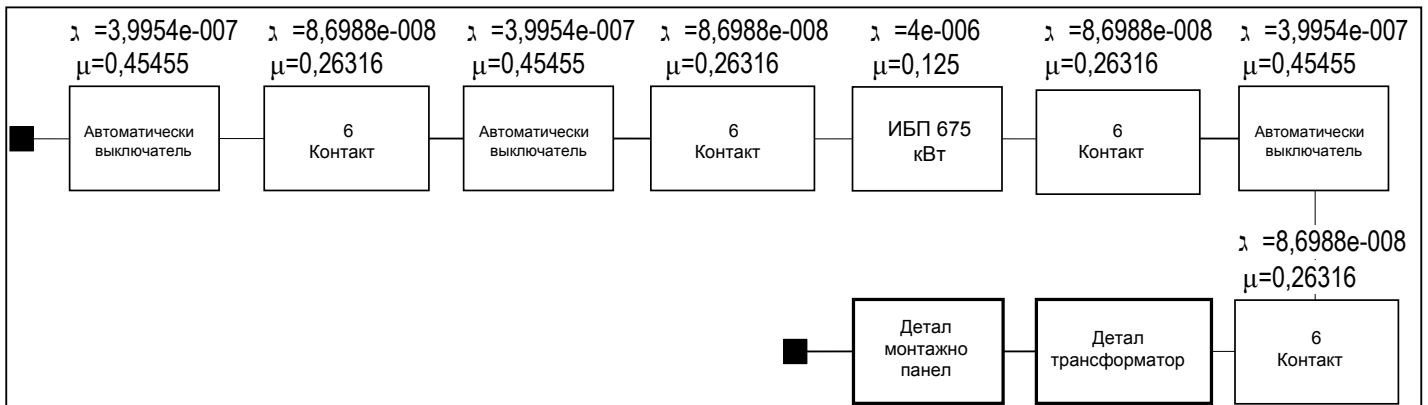


Рис. 23. Система ИБП и распределение



В соответствии с этими блок-схемами надежности (RBD) ниже показана доступность системы с одним кабелем вместе с ATS.

Доступность нагрузки на один кабель с ATS [Пример 4]

Модель-Название	Доступность	Недоступность	MTTR (часы)	MTTF (часы)	Ежегодный простой (часы)
Нагрузка на один кабель с ATS	99,999931 %	3,558950E-07	0,4	499 705	0,00604
Система ИБП и распределение	99,999998 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,00018
Детали трансформатора	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Детали монтажной панели	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926
ATS	99,999933 %	3,3333E-07	0,3	500 000	0,00584

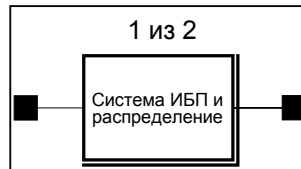
В этом случае доступность значительно возросла после добавления еще одного устройства распределения электропитания (PDU). Тем не менее, ATS является единственным уязвимым участком в системе, при этом ограничение доступности достигает “99,9999 %”. Поэтому ATS следует всегда выбирать исходя из ее надежности, а запасные детали всегда должны быть на месте для уменьшения MTTR.

Доступность нагрузки в двухкабельной системе [Пример 5]

Анализ нагрузки в двухкабельной системе (на рисунке 6) осуществляется на основе блок-схемы надежности на рисунке 24, представляющей верхний уровень. Как и система с автоматизированной испытательной системой для монтажа в стойку, данная блок-схема рассчитывает доступность на основе периодичности сбоев и восстановления общей системы ИБП и устройства распределения электропитания (PDU). Однако ATS не входит в нее, так как нагрузка распределяется по двум кабе-

лям, а также могут использоваться резервные пути. Для поддержания нагрузок и безотказной работы только 1 из 2 путей должен быть в рабочем состоянии. В данной системе отсутствуют единичные уязвимые участки. По существу даже источники питания, обеспечивающие безотказность нагрузки, являются резервными.

Рис. 24. Нагрузка в двухкабельной системе



Нижний уровень блок-схемы надежности, из которого состоит блок “Система ИБП и распределение” идентичен тем, что указаны на рисунках 9 - 11. В соответствии с этими блоками ниже показана доступность двухкабельной системы.

Доступность нагрузки в двухкабельной системе [Пример 5]

Модель-Название	Доступность	Недоступность	MTTR (часы)	MTTF (часы)	Ежегодный простой (часы)
Нагрузка в двухкабельной системе	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Система ИБП и распределение	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Трансформатор Детали	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Монтажная панель Детали	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

В этом последнем примере доступность блока “Система ИБП и распределение” идентична доступности предыдущего примера, а общая доступность возросла до показателя “99,99999 %”. Главное различие заключается в том, что ATS больше не требуется, если используется двухкабельное оборудование. Как показано в последней системе, ATS является единственным уязвимым участком при отказе, и доступность ограничена значением “99,9999 %”.