

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л.Г. Роголина

*Кафедра «Беспроводные информационные системы и сети»,  
ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»; erus206@sibsutis.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** бесперебойное электропитание; отказоустойчивость структур; показатели надежности.

**Аннотация:** Получены схемы для расчета показателей надежности четырех структур систем электропитания телекоммуникационного оборудования: гарантированного электропитания в цепи переменного тока с собственной электростанцией; бесперебойного электропитания в цепи переменного тока с байпасом; бесперебойного электропитания в цепи переменного тока с собственной электростанцией и байпасом; бесперебойного электропитания в цепи постоянного тока. Проведен анализ отказоустойчивости представленных структур.

---

Надежность является одним из наиболее важных критериев оценки технико-экономической эффективности разрабатываемых устройств и систем электропитания (СЭП) телекоммуникационного оборудования. Количественными характеристиками надежности [1, 2] являются: МТBF ( $T_0$ ) – среднее время между отказами; MDT – среднее время нерабочего состояния; MUT – среднее время рабочего состояния;  $\lambda$  – интенсивность отказов;  $\mu(1/T_A)$  – интенсивность восстановления. Степень готовности аппаратуры  $A$  и безотказность  $R$  СЭП определяются выражениями [1]:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT};$$
$$R = e^{-\lambda t},$$

где  $t$  – интервал времени, на котором определяется безотказность. Минимальная величина надежности ограничивается государственными, отраслевыми и международными стандартами [3, 4], где средняя наработка на отказ  $T_0$  должна быть не менее  $10^6$  ч для СЭП с аккумуляторной батареей (АБ) и среднее время восстановления  $T_v$  не более 0,5 ч. Обеспечение надежного функционирования СЭП достигаются различными схемными решениями (использование систем заземления TN-S, централизованной структуры, схем резервирования) и применением специального оборудования (трехступенчатой защиты, систем вентиляции и кондиционирования и т.д.).

Прогресс в аппаратостроении, приводящий к усложнению оборудования СЭП, многообразие архитектур затрудняет анализ и оценку показателей надежности системы. Одной из причин является использование различных способов

резервирования, где сложно оценить разумное количество избыточных модулей и обходных путей в источнике бесперебойного электропитания (ИБП), а также неисправность значимых, недублированных элементов, при которой требуется замена всей системы. Под отказоустойчивостью СЭП понимается подача бесперебойного, либо гарантированного электропитания с определенными параметрами качества питающих напряжений. Отказоустойчивость системы определяется ее эксплуатационной готовностью, которая зависит от проведения плановых и ремонтно-восстановительных работ. Во время эксплуатации СЭП важным фактором является длительность перерыва в подаче электроэнергии к потребителям, поэтому при электроснабжении телекоммуникационного оборудования эксплуатационная готовность СЭП должна быть выше эксплуатационной готовности оборудования.

Для оценки показателей надежности СЭП телекоммуникационного оборудования рассмотрим четыре структурные схемы СЭП (рис. 1).

1. Система гарантированного питания в цепи переменного тока с собственной электростанцией (СЭ), где в нормальном режиме нагрузки подключены через замкнутый контактор К1 автоматического ввода резерва (АВР) к трансформаторной подстанции (ТП); в аварийном режиме работы – через замкнутый контактор К2 АВР к собственной электростанции. В данной схеме не предусмотрено использование ИБП и выпрямительных устройств (ВУ). Для питания в цепи постоянного тока используются встроенные источники вторичного электропитания.

2. Система бесперебойного питания в цепи переменного тока с байпасом, где в нормальном режиме работы вход ИБП подключен через замкнутый контактор К1 АВР к ТП, а нагрузки подключены к выходу ИБП, который обеспечивает высокую стабилизацию выходного напряжения и улучшает гармонический состав потребляемого тока; в аварийном режиме работы питание обеспечивает АБ, подключенная ко входу инвертора напряжения. Байпас используется в случае выхода из строя ИБП или для проведения ремонтных, либо профилактических работ.

3. Система бесперебойного питания с СЭ и байпасом, где в нормальном режиме нагрузки подключены к выходу ИБП. Вход ИБП подключен к ТП через замкнутый контактор К1 АВР. В аварийном режиме работы до момента подключения СЭ питание обеспечивает АБ. В данной схеме не предусмотрено использование ВУ, используются встроенные источники вторичного электропитания. Байпас выполняет аналогичную функцию как в предыдущем варианте.

4. Система бесперебойного питания в цепи постоянного тока от ВУ, где в нормальном режиме нагрузки подключены к выходу ВУ, который получает питание от ТП через замкнутый контактор К1 АВР. В аварийном режиме работы питание обеспечивает АБ.

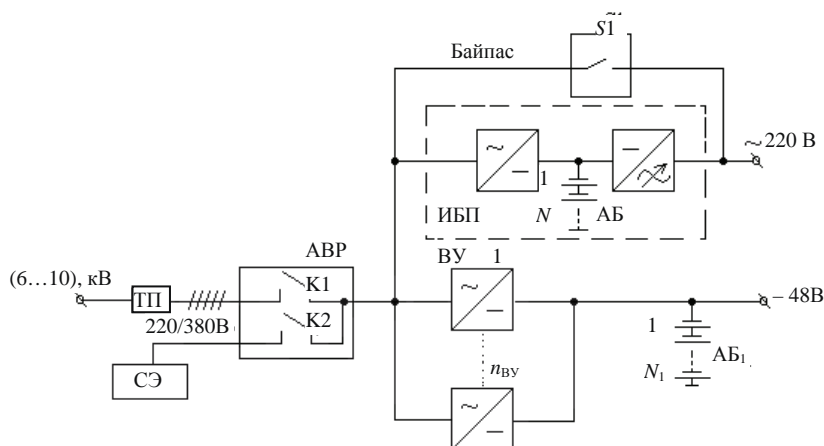


Рис. 1. Структурная схема СЭП

## Анализ надежности в системе электропитания

Логико-вероятностный метод оценки надежности структурно-сложных систем получил широкое распространение [5] и является частью стандартов [6, 7]. Для построения структурно-логической схемы расчета надежности исследуемой СЭП (см. рис. 1) выделены наиболее слабые точки, в которых малейшая неисправность может привести к недопустимым последствиям в системе. Все неисправности оцениваются вероятностью их возникновения и серьезностью последствий для СЭП. Отображение событий, которые могут вызвать определенные типы нарушений в виде такой структуры, позволит найти вероятность появления неисправности или неготовности системы в часах за год. Структурно-логические схемы расчета надежности очень удобны для анализа сложных систем, так как позволяют легко определять показатели надежности систем, в которых время ремонта не так важно как сама неисправность. Они определяют логическую взаимосвязь блоков и компонентов, следовательно, и неисправностей в системе, элементы которых располагаются последовательно или параллельно. При последовательном и параллельном соединениях блоков расчет показателей надежности осуществляется согласно выражениям, представленным в табл. 1 [8].

Проведен расчет показателей надежности СЭП при гарантированном и бесперебойном электроснабжении (см. рис. 1) для четырех вышеописанных структур. Показатели надежности элементов и структур представлены, соответственно, в табл. 2 и 3 [8, 9].

Таблица 1

### Выражения для расчета показателей надежности

Тип соединения	$R^*$	$A^{**}$
Последовательное	$\exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)t]$	$\prod_{i=1,n} \mu_i / (\lambda_1 + \mu_i)$
Параллельное	$[\lambda_2 \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_1 \exp(-\lambda_2 t)] / (\lambda_1 + \lambda_2)$	$1 - \prod_{i=1,n} \lambda_i / (\lambda_1 + \mu_i)$

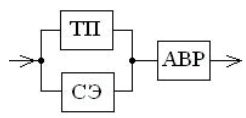

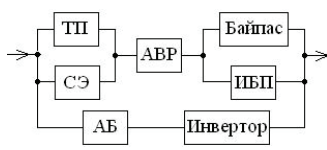
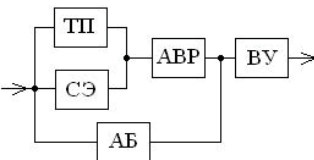
\* Интенсивность отказов основного и резервного элементов различны  $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ;  
 \*\*  $i$  – неработоспособное состояние.

Таблица 2

### Показатели надежности элементов структур

Элементы	MTBF, ч	$\lambda$	$\mu$	$R$	
				1 год	5 лет
СЭ	$4,545 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	0,232	0,137	$1,38 \cdot 10^{-6}$
ТП	$2,733 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$5,38 \cdot 10^{-2}$	0,98	0,868
АБ	$6,1 \cdot 10^6$	$1,64 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	0,9985	0,9899
Инвертор	$1,65 \cdot 10^5$	$6,07 \cdot 10^{-6}$	0,5	0,948	0,689
ВУ	$4,35 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	0,5	0,9998	0,9986
АВР	$1,333 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	0,5	0,993	0,955
Байпас	$2,703 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	0,5	0,968	0,797

## Показатели надежности структур

Структуры СЭП	Структурно-логическая схема надежности	$R$ (за 5 лет)	$A$
1. Гарантированного электропитания в цепи переменного тока с СЭ		0,776	0,9999984
2. Бесперебойного электропитания в цепи переменного тока с байпасом		0,65	
3. Бесперебойного электропитания с СЭ и байпасом		0,926	0,9999999
4. Бесперебойного электропитания в цепи постоянного тока от ВУ		0,9979	

## Основные выводы

Несмотря на высокое значение надежности ( $R = 0,776$ ) системы питания в цепи переменного тока с СЭ (структура 1), ее нельзя рассматривать как лидирующую из-за невысокого качества электропитания. Надежность системы бесперебойного питания в цепи переменного тока с байпасом (структура 2) зависит исключительно от надежности ИБП. Система бесперебойного питания с СЭ и байпасом (структура 3) имеет лучшую надежность по сравнению с другими системами, однако необходимо обратить внимание на ее стоимость, которая может превышать этот показатель других решений. Система бесперебойного питания в цепи постоянного тока (структура 4) обеспечивает определенный потолок надежности, в то время как уровень готовности аппаратуры находится на уровне системы структуры 3.

Системы питания постоянно развиваются. С каждым годом появляются новые архитектуры СЭП, повышается надежность отдельных функциональных узлов, что позволяет повысить показатели надежности на этапе их проектирования. Однако влияние человеческого фактора на время простоя никогда не уменьшается. Этим фактором очень трудно управлять. Графическое отображение комбинаций событий, которые могут вызвать определенные типы нарушений, обеспечивает наглядность и позволяет не только определить возможные причины конкретного сбоя, но и выработать мероприятия для эффективного их устранения в СЭП.

### *Список литературы*

1. ГОСТ Р 52555–2006 (МЭК 62059–11:2002). Аппаратура для измерения электрической энергии. Надежность. Часть II. Общие положения. – Введ. 2007–01–01. – М. : Стандартинформ, 2006. – 11 с.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 37 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – 2000 г.
4. ОСТ 45.183–2001. Установки электропитания аппаратуры электросвязи стационарные. Общие технические требования. – Введ. 2001–03–01. – М. : Информсвязь, 2001. – 13 с.
5. Ковалев, А.П. Применение логико-вероятностных методов для оценки надежности структурно-сложных систем / А.П. Ковалев, А.В. Спиваковский // Электричество. – 2000. – № 9. – С. 66–70.
6. MIL–HDBK–217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1991. Notice 1 (1992) and Notice 2 (1995).
7. РД 03–418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – Введ. 2001–01–09. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 18 с.
8. IEEE Standard 493, 1997, “IEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems”
9. Bonnefoi, P. Introduction to Dependability Design / P. Bonnefoi // Cahiers Techniques Merlin Gerin. – 1990. – No. 144. – P. 1–20.

---

## **Analysis of Reliability of Power-Supply Systems for Telecommunications Equipment**

**L.G. Rogulina**

*Department “Wireless Data Systems and Networks”, Siberia State  
University of Telecommunications and Computing; epus206@sibsutis.ru*

**Key words and phrases:** uninterruptable power-supply; reliability index; fault-tolerance of structures.

**Abstract:** The article describes the schemes for the calculation of the reliability indexes of the 4 structures of the power-supply systems for telecommunications equipment: guaranteed power-supply in the alternating current circuit with its own power plant; uninterruptable power-supply in the alternating current circuit with the bypass; uninterruptable power in the alternating current circuit with its own power plant and the bypass; uninterruptable power in the direct current circuit. The analysis of the fault-tolerance of the structures is carried out.

---

## **Analyse der Sicherheit der Systeme der Stromversorgung der Telekommunikationsausrüstung**

**Zusammenfassung:** Es sind die Schemas für die Berechnung der Kennwerten der Sicherheit der vier Strukturen der Systeme der Stromversorgung der Telekommunikationsausrüstung erhalten: der garantierten Stromversorgung im Kreis des Wechsel-

stromes mit dem eigenen Kraftwerk; der ununterbrochenen Stromversorgung im Kreis des Wechselstromes mit dem Beipaß; der ununterbrochenen Stromversorgung im Kreis des Wechselstromes mit dem eigenen Kraftwerk und Beipaß; der ununterbrochenen Stromversorgung im Kreis des Gleichstromes. Es ist die Analyse der Ausfallsicherheit der vorgelegten Strukturen durchgeführt.

---

### **Analyse de la fiabilité des systèmes de l'alimentation électrique de l'équipement de télécommunication**

**Résumé:** Sont obtenus des schémas pour le calcul des indices de la fiabilité de quatre structures de l'alimentation électrique de l'équipement de télécommunication: de l'alimentation électrique garantie dans le réseau du courant alternatif avec une propre station électrique; de l'alimentation électrique continue dans le réseau du courant alternatif à by-pass; de l'alimentation électrique continue dans le réseau du courant continu. Est effectuée l'analyse de la résistance à la défaillance des structures proposées.

---

**Автор:** *Розулина Лариса Геннадьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Беспроводные информационные системы и сети», ГОУ ВПО «СибГУТИ».

**Рецензент:** *Шлыкова Ольга Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоприемные и радиопередающие устройства», ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет».

---