

Расчет и программа подтверждения надежности источников питания

**Владислав Безруков,
Алексей Швец,
Денис Иванилов**

В статье представлен расчет надежности источника питания и полученные результаты на примере модели STAR 100-700T Industrial. Рассмотрены методические указания и даны практические предложения по экспериментальному подтверждению надежности, а также описано проведение испытаний и их продолжительность.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение энергоэффективных технологий в современном освещении неразрывно связано с использованием светодиодных светильников, чья работа существенно зависит от качества вторичных источников питания. Одним из ключевых факторов, определяющих качество вторичных источников питания, является их надежность. Методика расчета надежности источников питания компании «Трион» (далее — Компания) представлена в статье [1], где вся процедура такого расчета проиллюстрирована на примере модели STAR 100-700T Industrial TU 27.11.50-002-27335237-2022, разработанной Компанией.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Согласно техническим условиям [2], источник питания STAR 100-700T Industrial TU 27.11.50-002-27335237-2022 (далее — источник питания) представляет собой встраиваемый стабилизированный одноканальный источник вторичного питания, который обеспечивает стабильную работу светодиодных модулей с точным значением постоянного тока в заданном диапазоне напряжения. Источник питания предназначен для работы от однофазной сети переменного тока с параметрами 230 В $\pm 20\%$ и частотой 50 Гц $\pm 10\%$.

По своему назначению, выполняемым задачам, возможности восстановления работоспособности после отказа в процессе эксплуатации и технического обслуживания источник питания в соответствии с классификацией, установленной ГОСТ 27.003 [3], представляет собой невосстанавливаемый, обслуживаемый объект конкретного назначения и многократного циклического применения, надежность которого характеризуется средней наработкой до отказа.

Анализ конструкции источника показал, что его работоспособность обеспечивают такие нерезервируемые электрорадиоизделия, как микросхемы, диоды, транзисторы, конденсаторы, резисторы, варисторы, дроссели, трансформаторы, кабели и печатные платы.

Изучение отечественной и зарубежной литературы по надежности электрорадиоизделий [3-9] позволя-

ет сделать вывод, что наиболее актуальные данные о надежности доступны в справочниках ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ» [7, 8]. Справочника «Надежность изделий электронной техники для устройств народно-хозяйственного назначения» [5] нет в открытом доступе, он не переиздавался с момента выхода в 1990 году, вероятно, из-за закрытия ВНИИ «Электростандарт». Актуальные данные о надежности электрорадиоизделий, отсутствующие в справочниках ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», взяты из справочника MIL-HDBK-217F [9] — например, данные об электрорадиоизделиях поверхностного монтажа.

В связи с тем, что в источнике, предназначенном для гражданской сферы, используется иностранная элементная база, для расчета надежности выбран трудоемкий, но один из наиболее достоверных вариантов расчета — по характеристикам надежности электрорадиоизделий-аналогов зарубежного производства с определением коэффициентов моделей, учитывающих условия эксплуатации устройства и качество изготовления электрорадиоизделий коммерческого (гражданского) назначения импортного производства.

Детальный анализ состава источника питания STAR 100-700T Industrial позволил выделить элементы, определяющие его надежность, взаимная увязка характеристик надежности которых с учетом рекомендаций справочной литературы позволила создать методику определения средней наработки источника до отказа.

Проведенный расчет средней наработки источника питания STAR 100–700T Industrial до отказа показал, что расчетная оценка средней наработки до отказа составляет 82112 ч. Анализ выполнения требований ТУ показывает, что полученная оценка средней наработки до отказа позволяет выполнить требования ТУ по надежности и многократно (более чем в 8 раз) превышает установленные в ТУ требования (по ТУ — не менее 10000 ч).



Рис. 1. Источник питания STAR 100–700T Industrial

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ

Анализ нормативно-технической литературы [10–13] продемонстрировал, что в документе РД 50–690–89 «Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным» наиболее полно описан порядок оценки показателей надежности для инженерной практики.

В соответствии с методическими указаниями для определения экспериментальных оценок характеристик надежности проводят следующие работы: выбор плана испытаний на надежность; планирование испытаний; сбор необходимой информации; статистическая обработка информации.

Обозначения и определения планов испытаний на надежность достаточно полно представлены в государственном стандарте [10]. План испытаний на надежность устанавливает число объектов испытаний; порядок проведения испытаний; критерии прекращения испытаний.

Выбор планов испытаний зависит от типа объекта испытаний; целей испытаний; оцениваемых показателей надежности; условий испытаний и других технико-экономических факторов.

В соответствии с приложением методического указания [13] для невозстанавливаемых объектов при проведении определительных испытаний на надежность для средней наработки объекта до отказа рекомендованы перечисленные планы испытаний [NUN], [NUr], [NUz], [NUT], [NRr], [NRT], определение каждого из которых описано в [1].

По расчетам, проведенным для наиболее подходящих планов, опти-

мальная продолжительность испытаний составила 65 тыс. ч (~7,4 года). С формулами расчетов для каждого плана испытаний также можно ознакомиться в статье журнала [1].

По причине ограниченных сроков опытно-конструкторской работы и затрачиваемых ресурсов, а также из-за неприемлемого количества требуемого времени для испытаний, предложенный в научно-технической литературе метод экспериментального подтверждения надежности реализовать трудоемко, так как нет возможности провести ускоренные испытания.

Сотрудниками компании разработана программа подтверждения надежности источников питания в обеспечение экспериментального подтверждения заданных в ТУ [2] или полученных по результатам расчета уровней средней наработки до отказа источников питания серии Industrial с использованием сбора и обработки информации о надежности по результатам наблюдений за функционированием подконтрольной партии источников.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КОМПАНИЕЙ ПРОГРАММА ПОДТВЕРЖДЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Сбор и обработка информации в процессе эксплуатации источников проводится с целью:

- подтверждения достигнутого фактического уровня надежности путем контроля показателя «средняя наработка до отказа, T_0 »;
- определения наименее надежных элементов источника и разработки рекомендаций по устранению причин отказов.

Наблюдения проводятся за N источниками на k объектах эксплуатации. В процессе подконтрольной эксплуатации фиксируются все неисправности и отказы источников.

Под неисправностью источника подразумевается состояние источника, при котором хотя бы один его параметр не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на источник.

Под отказом источника принято считать событие, заключающееся в нарушении функционирования источника, исключающее возможность его эксплуатации для выполнения основной задачи.

Отказы источников разделяются на зачетные и не зачетные.

Отказ источника является не зачетным, если:

- отказ вызван нарушениями правил эксплуатации или неправильными действиями эксплуатирующего персонала;
- отказ произошел по причине выхода за требуемые пределы внешних факторов, оговоренных и заданных в ТУ (питающее напряжение, температура окружающей среды, относительная влажность воздуха и т.д.);
- причины отказа однозначно устранены и не могут проявляться в дальнейшем.

Остальные отказы, в том числе по которым не представляется возможным принять меры по исключению причин их возникновения, считаются зачетными и учитываются в расчете надежности.

Не зачетные отказы в расчете надежности не учитываются.

В ходе наблюдений за техническим состоянием источников фикс-

сируется и передается следующая первичная информация: зав. номер источника (однократно по каждому источнику); дата изготовления источника (однократно по каждому источнику); дата ввода в эксплуатацию (однократно по каждому источнику); условия эксплуатации (характеристики помещения, улица и т.д., характеристики питающего напряжения) (однократно по каждому объекту эксплуатации); наработка источников (ежемесячно не позднее определенного числа месяца, следующего за отчетным).

При возникновении неисправности (отказа) источника объект эксплуатации формирует и направляет следующую информацию: дата, время, внешнее проявление неисправности (отказа) источника; наименование, обозначение, заводской номер, наработка неисправного источника; условия, при которых произошел отказ (характеристики входного тока и напряжения, температура и влажность окружающей среды).

Отказавший источник с сопроводительной документацией, содержащей сведения, указанные в настоящем пункте, передается для исследования и классификации отказа.

Исследование причин неисправности (отказа) источника проводится в течение нескольких рабочих дней после получения неисправного источника и сопроводительной документации на него. По результатам исследования составляется и направляется акт, в котором отражены сведения об отказавшем источнике (наименование, обозначение, заводской номер, наработка); дата, время, внешнее проявление неисправности (отказа) источника; условия, при которых произошел отказ (характеристики входного тока и напряжения, температура и влажность окружающей среды); перечень работ, проведенных для определения причин неисправности (отказа) источника; причина неисправности (отказа) источника; классификация неисправности (отказа) (конструкционный, производственный, эксплуатационный, дефект не подтвердился); предложения по исключению повторения неисправности.

По итогам сбора и анализа вышеуказанных сведений специалистом

по надежности готовится полугодовой (или годовой) аналитический отчет (или справка) о техническом состоянии и надежности источников по результатам подконтрольной эксплуатации, содержащий сведения о подтвержденном уровне надежности источника, предложения о целесообразности продолжения наблюдения и рекомендации по исключению выявленных неисправностей и отказов.

ПЛАНИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ПРОГРАММЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Планирование наблюдений заключается в определении количества источников N и продолжительности наблюдений за их работой τ при выявлении m зачетных отказов, необходимых для подтверждения расчетной оценки (или требуемой по ТУ) средней наработки источника до отказа, T_o .

Определение минимальной продолжительности наблюдений проводится по формулам:

при отсутствии зачетных отказов ($m = 0$):

$$\tau_{min} = \frac{0,693 \cdot T_o}{N}, \quad (1)$$

при наличии зачетных отказов ($m \neq 0$):

$$\tau_{min} = \frac{m \cdot T_o}{N}, \quad (2)$$

Минимальные продолжительности наблюдений τ_{min} в часах, рассчитанные по формулам (1) и (2) для средней наработки на отказ $T_o = 82112$ ч при различном количестве зачетных отказов m от 0 до 3 и количестве источников N от 10 до 70 приведены в таблице 1.

При отсутствии отказов ($m = 0$) оценка средней наработки источника до отказа по результатам наблюдений определяется по формуле:

$$\hat{T}_o = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{0,693}, \quad (3)$$

где t_i — наработка i -го источника по результатам наблюдений.

При наличии отказов ($m \neq 0$) оценка средней наработки источника до отказа определяется по формуле:

$$\hat{T}_o = \frac{\sum_{j=1}^m \tau_j + (N - m) \cdot T}{m}, \quad (4)$$

где m — количество выявленных отказов;

τ_j — наработка изделия до j -го отказа;

T — время завершения испытания.

Для подтверждения средней наработки источника до отказа по результатам наблюдений уровень средней наработки источника до отказа, заданный в ТУ или полученный по результатам расчета, считается экспериментально подтвержденным при выполнении следующего неравенства:

$$\hat{T}_o \geq T_{ТУ(PP)}, \quad (5)$$

где \hat{T}_o — оценка средней наработки источника до отказа, полученная по результатам наблюдений;

$T_{ТУ(PP)}$ — уровень средней наработки источника до отказа, заданный в ТУ или полученный по результатам расчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный расчет надежности учитывает условия эксплуатации изделия и качество изготовления электрорадиоизделий коммерческого назначения импортного производства, что дает более достоверные данные.

Предложенная компанией «Трион» программа подтверждения надежности источников питания, для определения экспериментальных оценок

Таблица 1. Минимальные продолжительности наблюдений t_{min} в часах

$T_o = 82112$ ч		N						
		10	20	30	40	50	60	70
m	0	5691	2846	1897	1423	1139	949	813
	1	8212	4106	2738	2053	1643	1369	1173
	2	16423	8212	5475	4106	3285	2738	2347
	3	24634	12317	8212	6159	4927	4106	3520

показателей надежности и для подтверждения заданных в ТУ или полученных по результатам расчета средней наработки до отказа источников питания серии Industrial, основана на сборе и обработке информации о надежности по результатам наблюдений за функционированием подконтрольной партии источников питания.

Программа подтверждения надежности источников питания позволяет за счет определения зачетных и незачетных отказов и увеличения количества объектов наблюдений сократить оптимальную продолжительность испытаний с 65000 ч до 813 ч при отсутствии выявленных зачетных отказов, и до 3520 ч при выявленных трех зачетных отказах.

Оптимальная продолжительность испытаний в диапазоне от 813 до 3520 ч при использовании на объекте эксплуатации 70 штук источников питания может укладываться в сроки опытно-конструкторских

работ и снизит объем затрачиваемых ресурсов для экспериментального подтверждения надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швец А. В., Сорокин А. С., Панин С. Д., Безруков В. С. О надежности источников питания // Полупроводниковая светотехника журнал. 2023. № 4.
2. Источник питания STAR серии Industrial. Технические условия. ТУ 27.11.50.002-27335237-2022. М.: ООО «ТРИОН», 2022.
3. ГОСТ 27.003-2016. «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности».
4. ГОСТ Р 27.102-2021. «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения».
5. ГОСТ 27.301-95. «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».
6. Надежность изделий электронной техники для устройств народно-хозяйственного назначения. Справочник. Разработан в соответствии с руководящим документом РД 50-670-88. М.: ВНИИ «Электростандарт», 1990.

7. Надежность электрорадиоизделий. Справочник. Разработан в соответствии с руководящим документом РД В 319.01.20-98. М.: ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2006.
8. Надежность электрорадиоизделий импортного производства. Справочник. М.: ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2006.
9. Reliability prediction of electronic equipment: Military Handbook MIL-HDBK-217F, Notic 2. Washington, Department of Air Force, 1995.
10. ГОСТ 27.410-87. «Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность».
11. ГОСТ 27.402-95. «Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение».
12. Аронов И. З., Бодин Б. В., Лapidус В. А. Надежность и эффективность в технике. Т. 6. Экспериментальная отработка и испытания. М.: Машиностроение, 1989.
13. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. РД 50-690-89. М., 1990.

170x135