

УДК 621.3.019.3

Т.И. Давыдова, А.В. Калашников

КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПЛАТЫ ПИТАНИЯ

Давыдова Татьяна Ивановна, кандидат технических наук, окончила радиотехнический факультет Ульяновского государственного технического университета. Ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет публикации и монографию в области расчетов надежности и эксплуатации радиотехнических средств. [e-mail: tasha_dav@inbox.ru].

Калашников Андрей Владимирович, окончил факультет проектирования и технологии электронных средств УлГТУ. Инженер-исследователь 1 категории ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области разработки печатных плат с элементами для систем вторичного электропитания. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

Надежность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) находится в центре внимания в течение многих десятилетий. Ее актуальность возрастает с миниатюризацией элементов, с увеличением их количества в РЭА. С ростом числа применяемых типов и большого количества задействованных элементов процесс вычислений надежности усложняется и занимает все большее время. Основными качественными показателями надежности являются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и средняя наработка до отказа. Опасные отказы элементов могут привести к критическим и даже катастрофическим последствиям в работе РЭА.

В данной статье описан метод расчета надежности с использованием различных коэффициентов. Для одной и той же задачи расчета надежности можно применить различные математические модели, а для их решения – разные методы, что в итоге может привести к разным результатам.

Представленный подход коэффициентного метода позволяет произвести расчет надежности с большей точностью и достоверностью. Коэффициентный метод удобен для сравнения различных схем надежности.

Ключевые слова: надежность, коэффициентный метод, наработка до отказа.

doi: 10.35752/1991-2927-2019-2-56-121-125

A COEFFICIENT METHOD FOR CALCULATING THE RELIABILITY OF FUNCTIONAL PART OF POWER SUPPLY PCB

Tatiana Ivanovna Davydova, Candidate of Science in Engineering; graduated from the Radioengineering Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Leading Engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and a monograph in the field of reliability calculations and operating of radio engineering facilities. e-mail: tasha_dav@inbox.ru.

Andrei Vladimirovich Kalashnikov, graduated from the Faculty of Design and Technology of Electronic Devices of UISTU; a research engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the field of development of printed circuit boards with electronic components for secondary power supply systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

The reliability of electronic equipment has been the focus of the attention for many decades. The actuality of that grows along with the miniaturization of electronic components and the density of attachment in electronic equipment. The process of reliability calculation becomes more complex and takes more time in view of the growth of type and amount of applied electronic components. Nonfailure operating probability, failure intensity, and mean time to failure are basic qualitative characteristics of the reliability. The dangerous failures of electronic components can have critical and catastrophic consequences in the functionality of electronic equipment.

The article deals with the procedure of the reliability calculation using various coefficients. Different mathematical models can be used for the same task of the reliability calculation. In order to solve the tasks, various methods can be used. All these facts may cause different results.

Authors represent an approach to the coefficient method allowing to carry out the reliability calculation with higher precision and fidelity. The coefficient method is usable for comparing different ways for reliability calculation.

Key words: reliability, coefficient method, time to failures.

ВВЕДЕНИЕ

В ряде случаев для ориентировочного расчета надежности проектируемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) достаточно обладать данными об общем количестве элементов в схеме и надежности аналогичной аппаратуры, полученными из опыта эксплуатации. Для точного расчета надежности необходимо располагать данными о реальной работе элементов схемы и о зависимостях интенсивностей отказов элементов от температурных, электрических и других нагрузок [1].

Предлагаемый метод позволяет провести расчет надежности не в виде абсолютных значений показателей надежности, а в виде целочисленных коэффициентов:

$$\sum_{i=1}^r N_i \cdot k_i,$$

где N_i – число элементов,

k_i – коэффициент надежности.

Это позволяет значительно упростить расчеты.

В классических методах расчета надежности используются исходные данные, такие как: состав РЭА, режим и условия его работы, интенсивности отказов его компонент (элементов). Однако при практических расчетах надежности имеются трудности, связанные с отсутствием достоверных данных об интенсивности отказов для номенклатуры элементов, узлов и устройств РЭА. Кроме того, современная РЭА характеризуется широким применением в качестве составных элементов электрорадиоизделия (ЭРИ) зарубежного производства. В справочной литературе, как правило, отсутствуют типонаименования ЭРИ зарубежного производства, и фактически база данных формируется пользователем. Поэтому для расчетов используются значения, полученные на основе анализа прототипов [2]. Существует целый ряд программных средств зарубежных производителей для расчета надежности, но ни одно из них не имеет базы данных по характеристикам надежности отечественных ЭРИ [3]. А если не получать своевременно обновления по ЭРИ зарубежного производства, то это скажется на расчетах.

Для расчета надежности «сложных» изделий нет стандартов, однозначно регламентирующих модели и методы расчета. Существующие стандарты либо носят рекомендательный характер (определяют номенклатуру методов расчета), либо в них стандартизированы модели расчета показателей надежности для частных случаев. То есть синтез модели и выбор метода ее решения являются прерогативой инженера-исследователя и целиком и полностью зависят от его квалификации.

Для преодоления данных трудностей при расчетах применяют коэффициентный метод.

В основу метода положены следующие допущения:

- 1) время возникновения отказов является простейшим потоком случайных событий, удовлетворяющих условиям стационарности, отсутствия последствия, ординарности;
- 2) интенсивности отказов всех элементов системы изменяются в зависимости от условий эксплуатации в одинаковой степени.

Первое допущение означает, что отказы являются событиями случайными и независимыми. Если нет резервирования, то отказ любого элемента приводит к отказу всей системы, и интенсивность отказов является величиной постоянной. Таким образом, первое допущение утверждает справедливость экспоненциального закона надежности. Второе допущение означает, что при различных условиях эксплуатации справедливо соотношение:

$$k_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_b} = \text{const},$$

где λ_i – интенсивность отказов i -го элемента,

λ_b – интенсивность отказов базового элемента.

Сущность коэффициентного метода состоит в том, что при расчете надежности РЭА используют не абсолютные значения интенсивности отказов λ_i , а коэффициент надежности k_i , связывающий значения λ_i с интенсивностью отказов λ_b какого-либо базового элемента, интенсивность отказов которого известна достоверно.

Коэффициент надежности k_i практически не зависит от условий эксплуатации и для данного элемента является константой, а различие условий эксплуатации k_u учитывается соответствующими изменениями λ_b . В качестве базового элемента в теории и практике выбран металлопленочный резистор, интенсивность отказов которого $\lambda_b = 3 \cdot 10^{-8}$. Показатели надежности комплектов берутся на основании справочных данных [2, 3].

Интенсивность отказов оцениваемого элемента λ_b' вычисляется по формуле:

$$\lambda_b' = \lambda_b \cdot k_u,$$

где k_u – коэффициент условий.

Предположим, что РЭА, в состав которой входит рассматриваемая плата питания, располагается на мачте корабля и относится к аппаратуре группы эксплуатации 2.1.3 в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.304 [4]. С учетом этого коэффициенты условий эксплуатации k_u приведены в таблице 1.

Таблица 1
Коэффициенты условий эксплуатации

| Наименование элемента | ku |
|----------------------------------|-------|
| Лабораторные условия | 1 |
| Подвижная корабельная аппаратура | 4...6 |

Результирующий коэффициент надежности ki' элементов цепи рассматриваемой платы питания с учетом электрических нагрузок и температуры окружающей среды рассчитывается по формуле (1):

$$ki' = a1 \cdot a2 \cdot a3 \cdot a4 \cdot ki \cdot ku, \quad (1)$$

где $a1$ – коэффициент, учитывающий отклонение температуры окружающей среды и электрической нагрузки от номинальной;

$a2$ – коэффициент, учитывающий отклонение температуры окружающей среды от номинальной;

$a3$ – коэффициент, учитывающий снижение электрической нагрузки относительно номинальной;

$a4$ – коэффициент использования элемента, определяемый отношением времени работы элемента к времени работы цепи.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1. Определить количественные значения параметров, характеризующие нормальную работу РЭА.

2. Составить поэлементную принципиальную схему РЭА, определяющую соединение элементов при выполнении ими заданной функции. Вспомогательные элементы, используемые при выполнении функции РЭА, не учитываются.

3. Определить исходные данные для расчета надежности:

- тип, количество, номинальные данные элементов;
- режим работы, температуру среды и другие параметры;
- коэффициент использования элементов;
- коэффициент условий эксплуатации системы;
- интенсивность отказов базового элемента λb

и интенсивность отказов оцениваемого элемента $\lambda b'$;

- результирующий коэффициент надежности ki' по формуле (1).

4. Определить основные показатели надежности РЭА при логически последовательном (основном) соединении элементов, узлов и устройств:

- *вероятность безотказной работы* определяется по формуле (2):

$$P(t) = e^{-\lambda b \cdot To}, \quad (2)$$

где To – наработка до отказа;

- *наработка до отказа* определяется по формуле (3):

$$To = \frac{1}{\lambda b' \cdot \left[n \cdot \sum (Ni \cdot ki') \right]}. \quad (3)$$

где Ni – число одинаковых элементов в РЭА;

n – общее число элементов в РЭА, имеющих основное соединение.

Если в схеме РЭА есть участки с параллельным соединением элементов, то сначала производится расчет показателей надежности отдельно для этих элементов, а затем для РЭА в целом.

5. Найденные показатели надежности сравниваются с требуемыми показателями по техническому заданию, и делается вывод о годности системы в смысле ее надежности. Если они не соответствуют требованиям технического задания или условиям эксплуатации, то принимаются меры к повышению надежности РЭА.

Основным средством повышения надежности РЭА является введение избыточности, которая подразделяется на два вида:

- внутриэлементная – применение более надежных элементов;
- структурная – резервирование – общее или раздельное.

Порядок повышения надежности:

1) уменьшить значение коэффициента использования элементов $a4$;

2) выбор элементов с меньшими значениями интенсивности отказов (более высокие показатели надёжности);

3) улучшение условий эксплуатации оборудования;

4) резервирование. Оно дает возможность из ненадежных элементов получать высоконадёжные элементы (устройства).

При этом возрастают громоздкость и стоимость устройства.

Важно отметить, что включение в схему дополнительных элементов увеличивает массу, габариты и стоимость изделия, поэтому применение этого способа должно быть экономически обосновано.

Влияние на надежность элементов основных дестабилизирующих факторов: электрических нагрузок и температуры окружающей среды – учитывается введением в расчет поправочных коэффициентов $a1 \div a3$.

Границы допустимых параметров (нагрузок), воздействующих на РЭА, принимают с учетом вероятности возникновения соответствующего режима и конкретных максимальных значений параметров (нагрузок).

ПРИМЕР КОЭФФИЦИЕНТНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПЛАТЫ ПИТАНИЯ

Плата питания предназначена для формирования напряжений электропитания из первичного напряжения. Согласно техническому заданию, наработка до отказа платы должна быть не менее 100000 ч [5, 6].

В качестве примера рассчитаем основные показатели надежности для небольшой части электрической схемы платы питания. Для расчета применим коэффициентный метод, используя коэффициенты надежности компонент схемы.

Функциональная часть электрической схемы платы питания представлена на рисунке 1.

Она состоит из: соединителя XP1, резисторов R1–R3, оптореле DD1, светодиода VD1.

В таблице 2 приведены коэффициенты надежности ki элементов схемы рассматриваемой функциональной части платы питания.

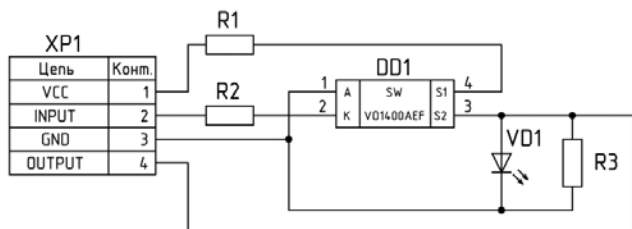


Рис. 1. Рассматриваемая функциональная часть платы питания

Таблица 2

Коэффициенты надежности элементов схемы

| Наименование элемента | ki |
|------------------------|------|
| Резисторы (R1, R2, R3) | 1,0 |
| Оптореле (DD1) | 3,0 |
| Светодиод (VD1) | 3,0 |
| Разъем (XP1) | 5,0 |

С контакта 1 разъема XP1 через резистор R1 питающее

напряжение +6,3 В подается на коммутируемый вывод 4 оптореле. Одновременно с контакта 2 разъема XP1 через резистор R2 контролируемое напряжение -5 В подается на управляющий вывод 2 оптореле. При наличии контролируемого напряжения -5 В, оптореле включается и питающее напряжение +6,3 В с вывода 3 оптореле поступает на светодиод VD1 и резистор R3. Происходит засвечивание светодиода. И далее напряжение подается на контакт 4 разъема XP1.

На основании электрической принципиальной схемы и ее анализа составим структурную схему надежности (СШ) функциональной части платы питания, представленную на рисунке 2.

При построении СШ используют последовательное, параллельное и последовательно-параллельное включение элементов [7, 8].

Исходные данные сведем в таблицу 3.

По результатам расчета можно сделать выводы:

1. Нарботка до отказа функциональной части платы питания $T_0 = 370370$ ч.

2. Вероятность безотказной работы $P(t) = 0,98$, т. е. вероятность того, что в пределах заданного времени работы t в заданных условиях работы не возникает отказов. Известно, что вероятность P безотказной работы находится в пределах $0 \leq P \leq 1$ (чем P ближе к единице, тем выше надежность).

Так как плата питания состоит из соединенных последовательно или параллельно блоков, вероятность безотказной работы каждого блока рассчитывается по формулам:

Таблица 3

Данные для расчета надежности

| | | | | | |
|--|----------------------|---|-------|-----|-------|
| Базовый элемент, 1/ч | λb | $3 \cdot 10^{-8}$ | | | |
| Коэффициент условий эксплуатации | ku | 5 | | | |
| Интенсивность отказов | $\lambda b'$ | $\lambda b \cdot ku = 15 \cdot 10^{-8}$ | | | |
| Нарботка до отказа по техническому заданию, ч | t | 100000 | | | |
| Элемент принципиальной схемы (СШ) | | XP1 | R | DD1 | VD1 |
| Число элементов | Ni | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Коэффициент надежности | ki | 5 | 1 | 3 | 3 |
| Коэффициент нагрузки | Kn | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Коэффициент электрической нагрузки | $a1$ | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| Коэффициент температуры | $a2$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Коэффициент нагрузки по мощности | $a3$ | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,5 |
| Коэффициент использования | $a4$ | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Произведение коэффициентов $a1 \cdot a2 \cdot a3 \cdot a4$ | | 0,42 | 0,175 | 0,2 | 0,125 |
| Результрующий коэффициент надежности | ki' | 10,5 | 0,875 | 3 | 1,875 |
| | $Ni \cdot ki'$ | 10,5 | 2,625 | 3 | 1,875 |
| | $\sum(Ni \cdot ki')$ | 18 | | | |
| Нарботка до отказа, ч | T_0 | 370370 | | | |
| Вероятность | $P(t)$ | 0,98 | | | |

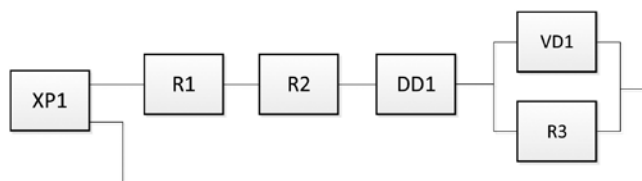


Рис. 2. ССН функциональной части платы питания

- для последовательного соединения – $P = P^n$;
- для параллельного соединения – $P = 1 - (1 - P)^n$.

Таким образом, сначала необходимо разбить электрическую схему на блоки, посчитать вероятность безотказной работы отдельного блока, затем посчитать вероятность безотказной работы РЭА в целом.

Сравнивая полученные значения наработки до отказа коэффициентным методом ($T_0 = 370370$ ч) и при использовании программного комплекса АСРН ($T_0 = 263111$ ч), можно сделать вывод, что полученные результаты близки по значениям. Отличие результатов возникает за счет того, что при разных способах расчета учитываются разные коэффициенты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведен расчет надежности функциональной части платы питания коэффициентным методом.

Коэффициентный метод имеет следующие преимущества:

- 1) позволяет на ранних этапах проектирования с хорошей точностью сравнивать надежность РЭА или отдельных частей при ограниченных данных по надежности элементов, что дает возможность из различных схемных вариантов выбрать наилучший;
- 2) дает возможность достаточно просто пересчитать количественные характеристики надежности при изменении режимов работы РЭА;
- 3) позволяет упростить расчеты на начальном этапе проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шинонок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М. : Советское радио, 1964.
2. Прытков С.Ф. Надежность электрорадиоизделий. – М. : ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
3. Reliability prediction of electronic equipment : Military Handbook MIL-HDBK-217 F. – Washington : Department of defense DC 20301, 1995.
4. ГОСТ РВ 20.39.304-98. КСОТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам. – М. : Стандартинформ, 1998.
5. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М. : Стандартинформ, 2018.

6. Давыдова Т.И., Реутов Д.В. Сравнительный анализ программ для расчета надежности: автоматизированной системы расчета надежности и автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры // Автоматизация процессов управления : сб. науч. тр. Молодеж. науч.-техн. конф., Ульяновск, 15–16 мая 2018 г. – Ульяновск : ФНПЦ АО «НПО «Марс», 2018. – Ч. 1. – С. 58–62.

7. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем. – М. : Советское радио, 1978.

8. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств. – Минск : БГУИР, 2010.

REFERENCES

1. Shinonok N.A., Repkin V.F., Barvinskii L.L. *Osnovy teorii nadezhnosti i ekspluatatsii radioelektronnoi tekhniki* [Fundamentals of the Theory of Reliability and Operation of Electronic Equipment]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1964.
2. Prytkov S.F. *Nadezhnost elektroradioizdelii* [Reliability of Electronic Devices]. Moscow, FGUP '22 TsNIII MO RF' Publ., 2008. 641 p.
3. *Reliability Prediction of Electronic Equipment. Military Handbook MIL-HDBK-217 F*. Washington, Department of Defense DC 20301, 1995.
4. *GOST RV 20.39.304-98. KSOOT. Apparatura, pribory, ustroystva i oborudovanie voennogo naznacheniia. Trebovaniia k stoikosti k vneshnim vozddeistvuiushchim faktoram* [National Standard. Hardware, Equipment, Devices and Military Engineering Facilities. Requirements for Resistance to External Impact]. Moscow, Standartinform Publ., 1998.
5. *GOST 27.003-2016. Nadezhnost v tekhnike. Sostav i obshchie pravila zadaniia trebovaniia po nadezhnosti* [Industrial Product Dependability. Contents and General Rules for Specifying Dependability Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2018.
6. Davydova T.I., Reutov D.V. *Sravnitelnyi analiz programm dlia rascheta nadezhnosti avtomatizirovannoi sistemy rascheta nadezhnosti i avtomatizirovannoi sistemy obespecheniia nadezhnosti i kachestva apparatury* [Comparative Analyses of Software Programmes for Calculating the Reliability of the Automated Reliability Calculation System and the System of Reliability and Quality Assurance of Electronic Equipment]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia. Sb. nauch. tr. Molodezh. nauch.-tekhn. konf. Ulyanovsk, 15–16 maia 2018* [Automation of Control Processes. Proc. of Youth Sci. Conf.]. Ulyanovsk, FRPC JSC 'RPA 'Mars' Publ., 2018, Ch. 1, pp. 58–62.
7. Levin B.R. *Teoriia nadezhnosti radiotekhnicheskikh sistem* [The Theory of Radio-Electronic System Reliability]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1978.
8. Borovikov S.M. *Raschet pokazatelei nadezhnosti radioelektronnykh sredstv* [The Performance Reliability Calculation of Radio-Electronic Facilities]. Minsk, BGUIR Publ., 2010.