

РАЗРАБОТКА МАКРОМОДЕЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

П. Н. Володин

Введение

Применение изделий электронной техники во всех сферах человеческой деятельности накладывает определенные требования по надежности, экономическим и эксплуатационным показателям, которые относятся как к ним самим, так и к их составным узлам и устройствам.

Одним из таких изделий, входящим практически во все виды электронной аппаратуры, является источник вторичного электропитания (ИВЭП). Стремление к улучшению КПД, массогабаритных показателей и расширению диапазона входных напряжений радиоэлектронной аппаратуры обусловило преимущественное распространение ИВЭП с импульсными способами преобразования энергии первичных источников питания [1].

На сегодняшний день существует великое множество ИВЭП, но мы будем рассматривать те, что монтируются в персональные электронные вычислительные машины (ПЭВМ). От качества работы блока питания (БП) во многом зависит и срок службы всего компьютера.

Современные методы проектирования электронных средств (ЭС), направленные на повышение показателей их надежности, улучшение технических характеристик, расширение спектра решаемых задач, а также применения элементной базы шестого поколения, накладывают все более жесткие требования на характеристики входящих в них устройств, в том числе и на ИВЭП. Прежде всего к этим требованиям относятся уровень стабильности и пульсаций выходных напряжений, токов потребления, динамических параметров, высокий КПД, увеличение числа выполняемых функций, условия эксплуатации и пр. Такие требования привели к структурной и схемотехнической сложности устройств электропитания, наличию в их составе элементов и функциональных узлов с нелинейными характеристиками, использованию ключевого режима работы, которые обеспечивают высокие энергетические и удельные показатели. В результате резко усложнился процесс эскизного и технического проектирования таких устройств, который определяет надежность формируемых систем электроснабжения [2]. Поэтому возникла необходимость повысить надежность проектируемых систем электроснабжения (ИИП) за счет новых методов математического моделирования с помощью ЭВМ. Практическое решение этой задачи невозможно без тщательного рассмотрения и учета особенностей устройств электропитания, требований, предъявляемых к ним, а также анализа моделей и методов расчета импульсных ИВЭП.

Таким образом, актуальной является задача разработки модели надежности импульсных ИВЭП.

Основная часть

Практически любая структурная схема импульсного источника питания может быть сведена к структуре, изображенной на рис. 1, которая включает в себя следующие узлы: входной выпрямитель/фильтр; трансформатор, выходной выпрямитель/фильтр, схему защиты, цепь обратной связи, схему управления, источник питания устройств управления.

Для разработки макромодели в качестве полной и точной характеристики надежности источника питания выбрана интенсивность отказов, так как она характеризует степень надежности объекта в данный момент времени.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности отказа невозстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник [3].

Для построения модели надежности необходим набор статистических и экспериментальных данных, позволяющих:

- оценивать влияние на характеристики надежности импульсных ИВЭП изменение нагрузки на выходе источника;
- определять уровень воздействий окружающей среды на надежность источника для каждой группы аппаратуры по ГОСТ 20.39.304–98;

- определить температуру нагрева элементов блока при изменяющейся нагрузке;
- определить изменение электрической нагрузки элементом в схеме ИВЭП при меняющейся нагрузке на выходе источника.

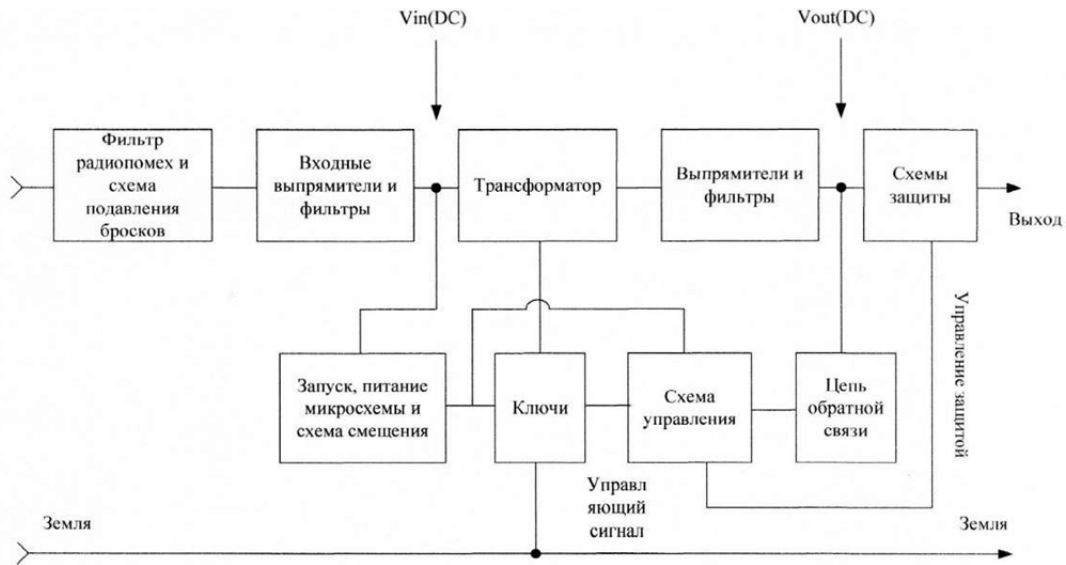


Рис. 1. Структурно-функциональная блок-схема для импульсного источника питания

При выборе исходных данных руководствуемся в первую очередь описанием реально существующих объектов и элементов в них, схемой источника, температурой окружающей среды, характером нагрузки, наиболее важными выходными, внутренними и внешними величинами.

Поскольку задача построения макромодели импульсных источников вторичного электропитания включает в себя ряд подзадач (рис. 2), то исходными данными являются данные каждой из задач.

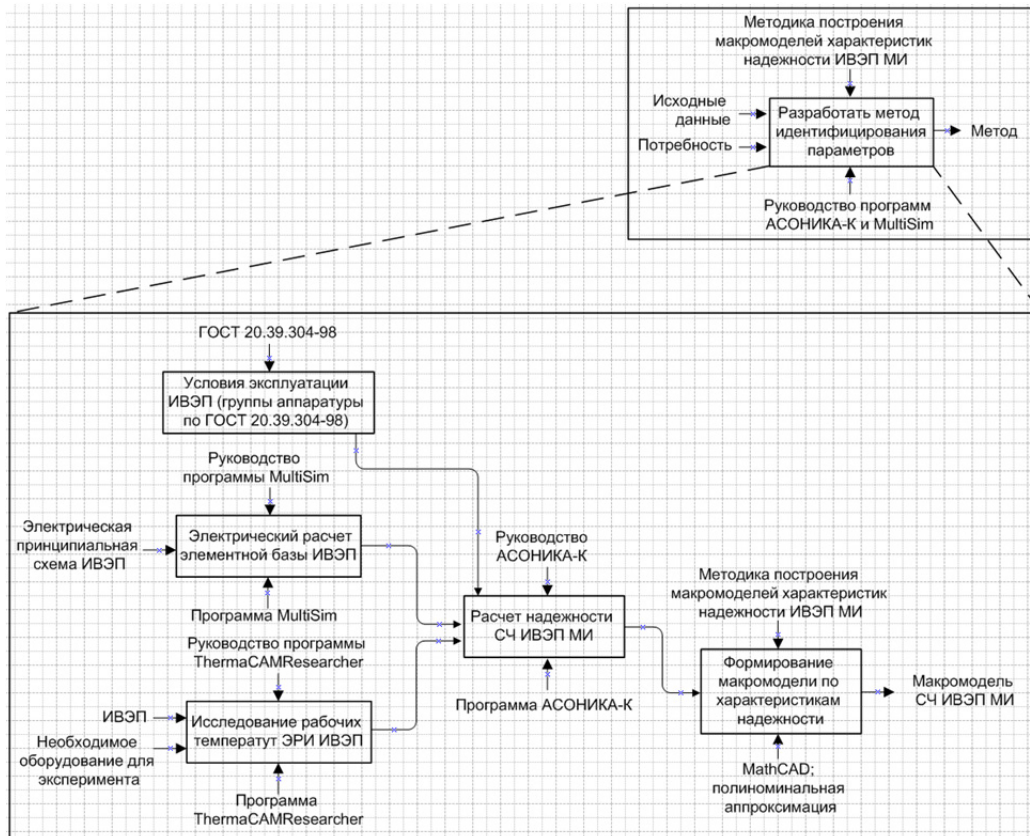


Рис. 2. Декомпозиция задачи макромоделирования импульсных ИВЭП

На этапе электрического моделирования определяем состав электрической принципиальной схемы объекта исследования, режимы работы, предельные нагрузки на дискретных электрорадио-элементах (ЭРЭ) и математические модели ЭРЭ с целью анализа в динамическом режиме [4, с. 137].

Задачей исследования не является получение макромодели функционального узла, которая определяла бы изменение взаимозависимых электрических процессов. Работа направлена на разработку макромодели показателя надежно импульсного ИВЭП, используя результаты электрических и тепловых расчетов.

Построение макромодели импульсного ИВЭП на этапе электрического расчета проводим, исследуя динамику изменения электрических характеристик элементов, с помощью программы MultiSim. Для этого описываем радиоэлектронное средство на уровне его дискретных компонентов. Далее фиксировались значения падения напряжения и протекающие токи через ЭРИ при изменении выходной нагрузки от 10 до 100 %.

Задача теплового расчета состоит в определении рабочих температур ЭРИ ИВЭП при изменяющейся нагрузке источника. Для этого был проведен натурный эксперимент.

Для проведения замеров рабочих температур элементов внутри блока было необходимо демонтировать верхнюю крышку компьютерного БП. Затем были подсоединены нагрузочные сопротивления к шинам питания +3.3V, +5V и +12V. Далее устанавливаем на штатив «тренога» тепловизор FLIRA-40. Через интерфейс USB соединяем тепловизор с ПК, на котором установлена программа ThermoCAMResearcher. После запуска БП необходимо дождаться стабилизации тепловых процессов в блоке. С помощью программы сохраняем изображения с тепловизора на флэш-накопитель (рис. 3). Далее, сопоставляя цвета ЭРИ с соответствующей цветовой шкалой температур, определяем нагрев ЭРИ.

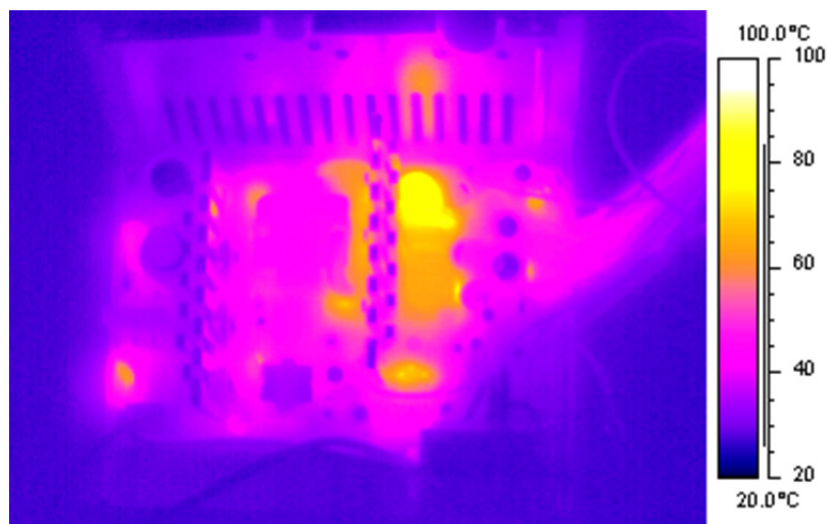


Рис. 3. Картина нагрева ЭРИ в процессе работы БП при нагрузке 100 %

Исходными данными для расчета надежности составных частей источника питания являются справочники отечественного и зарубежного производства.

На этапе расчета показателей надежности импульсного ИВЭП используем результаты первых двух этапов – электрический и тепловой расчет, а также данные нормативно-технической документации по каждому электрорадиоэлементу РЭС. Расчет проводим в системе АСНИКА-К-СЧ.

Система расчета надежности электронных модулей АСНИКА-К-СЧ позволяет проводить расчеты показателей безотказности и сохраняемости составных частей (электронных модулей 1-го уровня) электронных средств (ЭС). Система создана в обеспечение ГОСТ РВ 20.39.302-98 «Комплексная система общих технических требований. Содержание базы данных системы отвечает положениям РДВ 319.01.20-98 «Положение о справочнике «Надежность ЭРИ»[5].

На основе полученной информации проводился расчет показателя надежности (интенсивность отказов) импульсного ИВЭП для групп аппаратуры 1,1...3,4 с помощью подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества.

Сущность метода расчета надежности с учетом режимов работы элементов состоит в том, что в расчетных формулах для определения общей интенсивности отказов аппаратуры вместо

табличных среднегрупповых интенсивностей отказов λ_i подставляются значения интенсивностей отказов $\lambda(v_i)$, зависящие от режимов работы v . Значения $\lambda(v_i)$ берутся из соответствующих графиков или вычисляются по формулам [6].

В общем виде интенсивность отказов элементов с учетом реальной электрической нагрузки и температуры можно представить следующим выражением:

$$\lambda_i = \lambda_0 + \Delta\lambda_k + \Delta\lambda_{t0},$$

где λ_0 – интенсивность отказов при номинальном режиме; $\Delta\lambda_k$ – поправка на отклонение реального электрического режима от номинального; $\Delta\lambda_{t0}$ – поправка на отклонение реального температурного режима от номинального [7, 45].

Данная модель интенсивности отказов предложена в работах [8, 9] применительно к ЭРЭ, а в работе [10] – к электронному модулю и дополнена коэффициентом, учитывающим жесткость условий эксплуатации по группам аппаратуры согласно классификации.

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_{\Sigma}(i) \cdot K_p(i, T, K_H)$$

где λ_0 – базовая интенсивность отказов (интенсивность отказов СЧ при нормальных условиях (НУ) и номинальной нагрузке); K_{Σ} – функция эксплуатации (функция, учитывающая жесткость условий эксплуатации); i – номер группы аппаратуры по классификации [11] ($i=1, 2, \dots, I$, где I – количество групп); K_p – функция режима (функция, учитывающая режим эксплуатации);

T – температура среды, окружающей СЧ; K_H – коэффициент нагрузки ($K_H = \frac{R_{\text{раб}}}{R_{\text{ном}}}$, где $R_{\text{раб}}$ и $R_{\text{ном}}$ – рабочая и номинальная (по НТД) электрическая нагрузка СЧ).

Коэффициент, учитывающий степень жесткости условий эксплуатации, показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭРИ в аппаратуре конкретного класса (группы эксплуатации по [11]) выше при всех равных условиях, чем в наземной стационарной аппаратуре (группа 1.1).

Для корректировки изменяющихся условий вводится функция режима, которая зависит от температуры и коэффициента нагрузки.

Однако если тепловые и механические условия эксплуатации не меняются, интенсивность отказов можно представить в виде

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_{\Sigma}(i) \cdot K_H(i),$$

где λ_0 – интенсивность отказов при номинальном режиме; K_{Σ} – коэффициент, учитывающий жесткость условий эксплуатации; i – номер группы аппаратуры по классификации [12] ($i = 1, 2, \dots, I$, где I – количество групп); $K_H(i)$ – коэффициент электрической нагрузки, который определяется отношением рабочей электрической нагрузки к максимально допустимой электрической нагрузке с фиксированным значением температуры, не превышающей максимальную по ТУ.

Таким образом, при составлении макромодели переходим к **коэффициентному** методу расчета надежности.

Ввиду недостатков существующих методов расчета показателей надежности импульсных ИВЭП поставлена задача разработки макромодели интенсивности отказов импульсных ИВЭП. Для разработки макромодели был использован метод упрощения структуры полной математической модели $\Delta_{\text{ИВЭП}} = \Delta_{\text{НТД}} = \text{const}$ [13]. Применение этого метода позволяет унифицировать макромодель с математическими моделями эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и упростить структуру макромодели интенсивности отказов для типоразмера ИВЭП до минимума:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_0 \cdot K_{\text{пр}}(j) \cdot K_{\Sigma}(i) \cdot K_p(i, T, K_H),$$

где λ_0 – базовая интенсивность отказов; $K_{\text{пр}}$ – функция качества; j – номер приемки по классификации [11]; K_{Σ} – функция эксплуатации; i – номер группы аппаратуры по классификации [12]; K_p – функция режима; T – температура среды, окружающей ИВЭП; K_H – коэффициент электрической нагрузки ИВЭП.

Заключение

Разработана методика макро моделирования характеристик надежности импульсных ИВЭП. Методика основана на использовании возможностей систем ThermaCAMResearcher, MultiSim и АСОНИКА, позволяет провести исследование тепловых, электрических характеристик и показателя надежности (интенсивности отказов) импульсного ИВЭП.

Разработан алгоритм построения макро модели характеристики надежности импульсных ИВЭП.

Выполненные экспериментальные исследования определили вид макро модели импульсного ИВЭП $\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_{пр}(j) \cdot K_3(i) \cdot K_p(i, T, K_n)$ и подтвердили правильность основных положений и выводов работы.

Библиографический список

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 342 с.
2. Антипенский, Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М. : Техносфера, 2007. – 128 с.
3. Брук, Б. М. Курсовая работа по дисциплине «Информатика» Тема: «Аппроксимация методом наименьших квадратов» / Б. М. Брук. – СПб. : Изд-во ЛЭТИ, 2000. – 32 с.
4. Кожарский, Г. В. Методы автоматизированного проектирования источников вторичного электропитания / Г. В. Кожарский, В. И. Орехов. – М. : Радио и связь, 1985. – 184 с.
5. Галушкин, А. И. Оперативная обработка экспериментальной информации / А. И. Галушкин, Ю. Я. Зотов, Ю. А. Шикун. – М. : Энергия, 1972. – 360 с.
6. Дивеев, А. И. Поиск закона изменения надежности электронных модулей методом символьной регрессии / А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько, В. В. Жаднов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (2). – С. 32–38.
7. Шишенок, Н. А. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. Лекции 6-8. Методы расчета надежности радиоэлектронной аппаратуры / Н. А. Шишенок. – Киев, 1962. – 164 с.
8. Тумковский, С. Р. Разработка методов автоматизированного схемотехнического проектирования бортовых устройств электропитания радиотехнических систем : дис. ... канд. техн. наук / Тумковский С. Р. – М. : МИЭМ, 1989. – 189 с.
9. Жданкин, В. Надежность преобразователей напряжения и ее количественная оценка / В. Жданкин // В записную книжку инженера. – 1997. – № 4. – С. 116–119. – URL: <http://www.cta.ru>
10. Надежность ЭРИ : справочник / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др. ; науч. рук. С. Ф. Прытков. – М. : 22 ЦНИИ МО РФ, 2002. – 547 с.
11. Надежность ЭРИ : справочник. – М. : 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. – 600 с.
12. ГОСТ РВ 20.39.301–98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к стойкости внешних воздействующих факторов.
13. Герасимов, О. Н. Способ организации производственного контроля и диагностики РЭС с заданным уровнем остаточного / О. Н. Герасимов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (2). – С. 94–98.

Володин Павел Николаевич

магистрант,
Московский институт электроники
и математики им. А. Н. Тихонова
(123458, Россия, г. Москва, ул. Таллинская, 34)
E-mail: pavelj.volodin2013@yandex.ru

Volodin Pavel Nikolaevich

master degree student,
Moscow Institute of Electronics and Mathematics
named after A. N. Tikhonov
(123458, 34 Tallinskaya street, Moscow, Russia)

Аннотация. В данной статье объектом исследования является импульсный источник вторичного электропитания (ИВЭП) персональной вычислительной машины (ПВМ). Цель работы – анализ изменения показателей надежности ИВЭП в зависимости от температуры, электрической нагрузки и условий эксплуатации, построения модели надежно-

Abstract. In this article, the object of study is the pulsed secondary power source (IWEP) personal computers (PVM). The work purpose – analysis of changes in indicators of reliability of IWEP depending on temperature, electrical load and operating conditions, constructing a model of reliability. In the process of exploratory works were carried out a literature review on the research top-

сти. В процессе выполнения исследовательской работы был проведен обзор литературных источников по теме исследования, обзор основных направлений научной деятельности. Был сделан вывод о том, что наиболее часто в теории надежности используются экспоненциальный закон распределения, распределения Вейбулла и Рэлея, логнормальный закон распределения и др. Сформулированы основные требования к модели характеристик надежности импульсных ИВЭП. Разработан алгоритм построения модели характеристики надежности импульсных ИВЭП, основанный на методах факторизации, планирования эксперимента и полного расчета надежности аппаратуры. Сформулированы необходимые исходные данные для формирования модели. Проведен обзор методов для этапов электрического расчета и расчета надежности, проведены соответствующие работы по получению необходимых исходных данных. После небольшого обзора программ, позволяющих проводить схемотехническое моделирование и моделирование электрических процессов в схеме, было решено остановиться на Electronic WorkBench. Для определения рабочих температур ЭРИ компьютерного БП был проведен натурный эксперимент с использованием тепловизора. Далее была разработана макро модель интенсивности отказов ИВЭП с использованием метода полиномиальной аппроксимации.

Ключевые слова: источник вторичного электропитания, надежность, эксплуатационная интенсивность отказов, модель, проектирование.

ic, an overview of the main areas of scientific activity. It was concluded that the most often in the theory of reliability uses the exponential distribution, Weibull distribution and Rayleigh, lognormal distribution law etc. are Formulated the main requirements to model the reliability characteristics of the pulse of IWEP. The algorithm for the construction of the model the reliability characteristics of the pulse of IWEP based on the factorization methods, experiment design and complete calculation of the reliability of the instrument. Formulated the necessary inputs for model generation. A review of methods for stages of electrical calculation and calculation of reliability undertaken to obtain the necessary source data. After a short review of programs allowing to perform circuit simulation and modeling of electric processes in the circuit, it was decided to focus on Electronic WorkBench. To determine the operating temperatures of ERIE computer PSU, was carried out the experiment using the thermal imager. We developed a macro model of the failure rate of IWEP using the method of polynomial approximation.

Key words: secondary power supply, reliability, operational failure rate, model, design.

УДК 662.621.3

Володин, П. Н.

Разработка макро модели интенсивности отказов импульсного источника вторичного электропитания / П. Н. Володин // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 43–48. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-7.