

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Ларина Л.П., Полесский С.Н., Жаднов В.В.

Источники вторичного питания представляют собой большой класс электрорадиоизделий (ЭРИ), поэтому перед разработчиками возникает главный вопрос, помимо задач проектирования, как проводить расчеты надежности таких изделий. Поэтому в статье рассматривается основная методика их расчета. В качестве базового их представителя, для проведения на примере расчета надежности вторичных источников питания (ВИП) будем использовать преобразователи постоянного напряжения (DC-DC), в основной массе своей обладающие аналогичными конструктивно-технологическими параметрами, как и регуляторы напряжения, помехоподавляющие фильтры, низкочастотные корректоры коэффициента мощности (ККМ) или ККМ с дифференциальным выходом и стабилизаторы напряжения.

По своим массогабаритным и конструктивным характеристикам основную массу ВИП можно отнести к гибридным интегральным микросхемам (ГИС).

Методика расчета надежности ГИС приведена в справочнике [1], однако, как показал обзор литературы, в отечественных справочниках такой модели нет [2, 3].

Расчет надежности, а именно оценку интенсивности отказов (ИО) в режиме эксплуатации (являющейся обратной величиной средней наработки до отказа для экспоненциального закона распределения) проводим по математической модели для ГИС:

$$\lambda_p = \left[ \sum N_c \lambda_c \right] \cdot (1 + 0,2 \cdot \pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L, \quad (1)$$

где:  $N_c$  — номер каждого отдельного компонента;  $\lambda_c$  — интенсивность отказа каждого отдельного компонента, (1/ч.);  $\pi_Q$  — показатель, учитывающий уровень качества производства (отн. ед.);  $\pi_F$  — показатель, учитывающий основную функцию (отн. ед.);  $\pi_L$  — показатель, учитывающий уровень освоенности производства (отн. ед.);  $\pi_E$  — показатель, учитывающий жесткость условий эксплуатации (отн. ед.).

Исходя из приведенной модели (1), на примере расчета ИО преобразователя постоянного напряжения (ППН), ниже приведена подробная методика расчета такого класса ГИС.

В начале приведем ЭТХ преобразователя, необходимые для формирования информации о производстве, функциях, выполняемых ими, количестве компонентов: DC-DC преобразователь современного поколения имеет вид компактного устройства с расположенными на входе и выходе малогабаритными клеммными колодками типа PHOENIX [4], как показано на рис.1. На рис.2 приведены конструктивно-технологические параметры преобразователя.

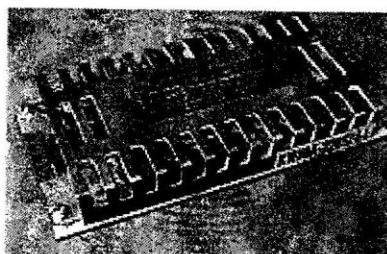


Рис.1. Внешний вид DC-DC преобразователя

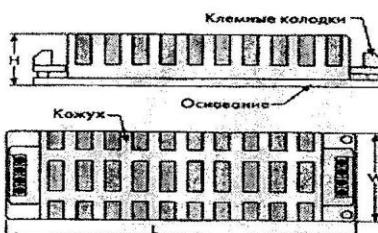


Рис.2. Защитный кожух DC-DC преобразователя

В целом преобразователь напряжения предназначен для питания переносных электронных средств (ЭС), потребляющих мощность не более 10 Вт. Он отличается высоким КПД, стабильным выходным напряжением, не критичен к степени разрядки батареи питания. Выходное напряжение при изменении входного от 6 до 30 В можно установить любым в пределах от  $\pm 10$  до  $\pm 20$  В. При этом нестабильность выходного напряжения не превышает 1%, а напряжение пульсаций (на нагрузке 2 кОм) - 10 мВ. Выходное сопротивление устройства - около 0,05 Ом.

Внутренние составляющие преобразователя изображены на принципиальной электрической схеме (см. рис.3) из [5].

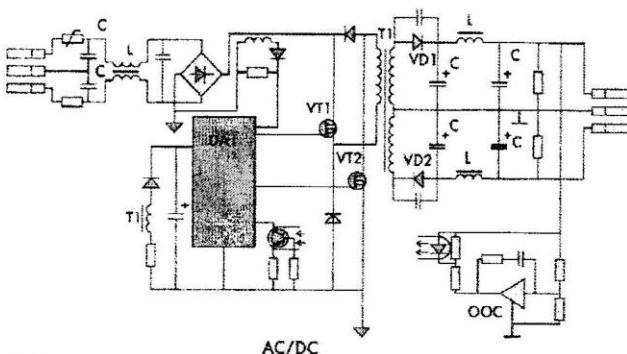


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная AC/DC (DC-DC) преобразователя

Для определения коэффициентов, входящих в состав математической модели эксплуатационной ИО ГИС, проведем анализ элементной базы преобразователя постоянного напряжения.

Результаты анализа схемы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Элементный состав электрической принципиальной схемы DC-DC преобразователя

№ п/п	Активные элементы	Количество активных элементов в схеме	Пассивные элементы	Количество пассивных элементов в схеме
1	диоды	11	резисторы	13
2	транзисторы	3	конденсаторы	11
3	операционные усилители	1	катушки индуктивности (трансформаторы)	7
4	стабилитрон	-		
5	тиристор	-		
6	динистор	-		
7	контроллеры	1		

Таким образом, в состав ПИН входят около 47 ЭРИ, не считая соединения, полложку и внутренние выводы.

На основании этих данных получим значение составляющих математической модели (1), используя справочник [1].

При проведении анализа принимаем допущения при расчетах эксплуатационной интенсивности отказов по справочнику [1] отдельных компонентов, которые определены в таблице 2.

Таблица 2. Определение  $\lambda_c$ 

Определение $\lambda_c$ для следующих типов компонентов	Раздел справочника [1]	Делаем следующие допущения, когда определяем $\lambda_c$
Микросхемы	5	$C_2=0$ , $\pi_Q=1$ , $\pi_L=1$ , $T_j$ определяем из раздела 5.12 [1], $\lambda_{BP}=0$ (для VHSIC)
Дискретные полупроводниковые приборы	6	$\pi_Q=1$ , $T_j$ определяем из раздела 6.14 [1], $\pi_E=1$
Конденсаторы	10	$\pi_Q=1$ , $T_A$ температурный показатель ГИС, $\pi_E=1$

Согласно таблице № 2 принимаем, что для микросхем и конденсаторов, как отдельных компонентов ППН, значения коэффициентов равны:

- микросхемы  $\pi_Q=1$ ,  $\pi_L=1$ ;
- конденсаторы  $\pi_Q=1$ ,  $\pi_E=1$ .

ППН по своей разновидности относится к мощным типам электрических схем (*power*), для которых величина показателя функции схемы  $\pi_p$ , определенная по справочнику [1], составляет 21 (отн. ед.).

Далее на основании конструктивных данных ГИС определяем материал корпуса — алюминий. Используя раздел 5.12 справочника [1], выявляем типичные характеристики ГИС (см. табл. 3).

Таблица 3. Типичные характеристики ГИС

Материал	Типичное употребление	Типичная толщина $L_i$	Теплопроводность, $K_i$	$(1/K_i) \cdot (L_i)$
Алюминий	Корпус MHP	0,020	4,6	0,0043
Медь	Корпус PHP	0,020	9,9	0,0020

По данным таблицы 3 вычисляем значение теплового сопротивления кристалл-корпуса, т.е.  $\theta_{JC}$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ).

Для расчета воспользуемся формулой, приведенной в [1]:

$$\theta_{JC} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{K_i} \right) \cdot (L_i)}{A}, \quad (2)$$

где:  $n$  — количество разновидности материала ГИС;  $K_i$  — теплопроводность для  $i$ -го материала ( $(\text{W}/\text{m}^2)^0\text{C}/\text{in}$ );  $L_i$  — толщина для материала ( $in$ );  $A$  — ограниченная площадь ( $in^2$ ).

Для алюминиевого корпуса эта величина будет составлять на основании (2):

$$A = [0,00278 + 0,0417]^2 = 0,00198, \\ \theta_{JC} = \frac{0,0043}{0,00198} = 2,17 \quad (3)$$

Проведем оценку температуры кристалла  $T_j$  для наихудшего случая, когда температура корпуса равна  $60^{\circ}\text{C}$ , по следующему выражению:

$$T_j = T_c + 0,9(\theta_{JC}) \cdot (P_d), \quad (4)$$

где:  $T_c$  — температура корпуса ГИС ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\theta_{JC}$  — тепловое сопротивление перехода кристалл-корпус;  $P_d$  — мощность тепловыделения (Вт).

Таким образом, получаем температуру кристалла  $T_j$ , по формуле (4) равной:

$$T_j = 60 + 0,9 \cdot 2,17 \cdot 10 = 79,53 (^{\circ}\text{C})$$

Рассчитаем ИО каждого отдельного компонента:

1. Диоды Шоттки (раздел 6.2 справочника [1]- диоды высокочастотные, микроволновый

диапазон):

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E, \quad (5)$$

Описание основных поправочных коэффициентов приведено в формуле (1), кроме коэффициентов:  $\pi_T$  - учитывающий тепловую нагрузку на диод,  $\pi_R$  - учитывающий электрическую нагрузку элемента;  $\pi_A$  - учитывающий применение элемента.

Для проведения численного расчета воспользуемся математическими моделями поправочных коэффициентов и данными из справочника [1].

Температурный коэффициент определяется по следующей математической модели и равен для  $T_c=60$ :

$$\pi_T = \exp\left(0,2100 \cdot \left(\frac{1}{T_c + 273} - \frac{1}{298}\right)\right), \quad \pi_T = 2,1 \text{ (отн. ед.)}$$

Поправочный коэффициент, учитывающий применения диода, определяется из таблицы справочника [1] как «все оставшиеся диоды» и равен  $\pi_A = 1$ .

Поправочный коэффициент, учитывающий электрическую нагрузку, определяется также из таблицы справочника [1] как «все оставшиеся диоды, имеющие мощность менее 10 Вт» и равен  $\pi_R = 1,0$  (отн. ед.).

Поправочный коэффициент, учитывающий уровень качества производства элемента, определяется также из таблицы справочника [1] для уровня качества «JAN» и равен  $\pi_Q = 1,8$  (отн. ед.).

Поправочный коэффициент, учитывающий жесткость условий применения элемента, определяется также из таблицы справочника [1] для уровня окружающей среды « $G_B$  – наземные стационарные условия» и равен  $\pi_E = 1,0$  (отн. ед.).

Таким образом, на основании полученных значений поправочных коэффициентов определяем эксплуатационную ИО диода по математической модели (1):

$$\lambda_p = 0,027 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 0 \cdot 1,8 \cdot 1,0 = 0,10206 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°.}$$

2. Транзисторы (раздел 6.7 справочника [1] - силовые, высокочастотные, биполярные):

ИО определяется аналогично п. 1 на основании данных, приведенных в [1], используя следующую математическую модель:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_M \cdot \pi_Q \cdot \pi_E, \quad (6)$$

Описание поправочных коэффициентов см. математическую модель (1) и (5). Кроме коэффициента  $\pi_M$ , учитывающего влияния согласования транзистора в схеме (отн. ед.).

Таким образом, на основании (6) получаем ИО транзистора равным:

$$\lambda_p = 0,067 \cdot 0,38 \cdot 0,46 \cdot 4 \cdot 0 \cdot 1,0 \cdot 0 \cdot 1,0 = 0,0468464 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°.}$$

3. Резисторы (раздел 9.14 справочника [1] - низкой точности):

ИО определяется аналогично п. 1 и на основании данных, приведенных в [1], используя следующую математическую модель:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{TAPS} \cdot \pi_R \cdot \pi_V \cdot \pi_Q \cdot \pi_E, \quad (7)$$

Описание поправочных коэффициентов см. математические модели (1) и (5). Кроме коэффициентов:  $\pi_{TAPS}$  - учитывающий влияния согласования транзистора в схеме (отн. ед.),  $\pi_R$  - учитывающий влияния номинала сопротивления (отн. ед.),  $\pi_V$  - учитывающий влияния жесткости электрической нагрузки (отн. ед.).

Таким образом, на основании (7) получаем ИО резистора равным:

$$\lambda_p = 0,05 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0 \cdot 5 \cdot 0 \cdot 1,0 = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°.}$$

4. Конденсаторы (раздел 10.11 справочника [1] - чип конденсаторы):

ИО определяется аналогично п. 1 и на основании данных, приведенных в [1], используя следующую математическую модель:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_C \cdot \pi_V \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (8)$$

Описание поправочных коэффициентов см. математические модели (1) и (5). Кроме коэффициента  $\pi_C$ , учитывающего влияния емкости (отн. ед.).

Таким образом, на основании (8) получаем ИО конденсатора равным:

$$\lambda_p = 0,0023 \cdot 0,59 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,001357 \cdot 10^{-6} \text{ 1/÷.}$$

5. Катушки индуктивности (раздел 11.2 справочника [1] - устройства индуктивности, катушки):

ИО определяется аналогично п. 1 и на основании данных, приведенных в [1], используя следующую математическую модель:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (9)$$

Описание поправочных коэффициентов см. математические модели (1) и (5).

Таким образом, на основании (9) получаем ИО катушки индуктивности равным:

$$\lambda_p = 0,0048 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,0048 \cdot 10^{-6} \text{ 1/÷.}$$

Теперь проведем окончательный расчет эксплуатационной интенсивности отказов преобразователя постоянного напряжения по математической модели (1) и получаем:

$$\lambda_p = [(11 \cdot 0,10206) + (3 \cdot 0,0468464) + (13 \cdot 0,25) + (11 \cdot 0,001357) + (7 \cdot 0,0048)] \cdot \\ \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,50) \cdot 21 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 105,336 \cdot 10^{-6} \text{ 1/÷.}$$

Таким образом, в результате расчета получаем значение эксплуатационной интенсивности отказов ГИС, а именно ППН. Аналогично можем получить значение ИО любого типа ВИП при условии, что все исходные данные при этом будут присутствовать. Поэтому в перспективе планируется разработка макромоделей технологических групп ВИП, учитывающих лишь жесткость условий применения (эксплуатации), тепловую и электрическую нагрузки. При этом упадет трудоемкость расчета в несколько раз (примерно в 3 раза), но возрастет погрешность до 10-15% (но это в пределах инженерной погрешности).

#### Литература

1. Military handbook reliability prediction of electronic equipment, 1991 г.
2. Надежность ЭРИ. Справочник. CD-версия / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. Научный руководитель С.Ф. Прытков. – М.: МО РФ, 2000. – 508 с.
3. Надежность ЭРИ. Справочник. CD-версия / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. Научный руководитель С.Ф. Прытков. – М.: МО РФ, 2004. – 528 с.
4. Модули и блоки электропитания-2000 промышленного и военного назначения: Каталог продукции / фирмы ООО «Александер электрик источники электропитания». — Москва, 2000 г.
5. Рогов В.Н. Моделирование вторичных источников питания: Методические указания.- 2005.

УДК 535.4, 621.396

## СИНТЕЗ ПОКРЫТИЙ С МИНИМАЛЬНЫМ РАССЕИВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Панченко Б.А., Гизатуллин М.Г.

Расчеты характеристик рассеяния и поглощения электромагнитных волн сферическими телами показали, что на высоких частотах ( $k_0 a > 10 \div 15$ ) графики частотных зависимостей радиолокационного коэффициента рассеяния  $\sigma_r$ , коэффициента рассеяния  $\sigma_s$ , становятся гладкими. Это объясняется тем обстоятельством, что токи на поверхности сфер носят