

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛА ОТКАЗОВ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СВЧ МОДУЛЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ

© В. Ф. Синкевич, А. В. Телец

ОАО «НПП «Пульсар», 105187, Москва, Окружной пр., 27

В работе рассматривается оценка зависимости числа отказов современных твердотельных СВЧ модулей от времени наработки. Это позволяет оценить время работоспособности РЛС, при отказах определённого процента изделий. Для решения этой задачи в работе представлена методика расчёта зависимости.

Ключевые слова: твердотельные СВЧ модули, время наработки, количество отказов

Сведения об авторах: Синкевич Владимир Фёдорович, д.т.н., профессор, sinkevich@pulsarnpp.ru; Телец Андрей Витальевич, telets@pulsarnpp.ru

THE DEPENDENCE OF THE NUMBER OF FAILURES FROM SOLID-STATE MICROWAVE MODULES OPERATING TIME

V. F. Sinkevich, A. V. Telets

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 27

There was considered the estimation of the dependence of the number of failures of modern solid-state microwave modules from the operating time. This allows to evaluate the time efficiency of the radar, at the failure of a certain percentage of products. To solve this problem, the paper presents the method of calculation that dependencies.

Keywords: solid-state microwave modules, operating time, number of failures

Data of authors: Sinkevich Vladimir Fedorovich, Sc.D., Prof., sinkevich@pulsarnpp.ru; Telets Andrey Vitalevich, telets@pulsarnpp.ru

Введение

Современные твердотельные радиолокационные станции (РЛС) – быстро развивающаяся область техники. Преимущество передатчиков на полупроводниковых приборах непрерывно связано с переходом от сосредоточенных (электровакuumных) к распределённым источникам СВЧ мощности в виде твердотельных СВЧ модулей. Мощности данных модулей складываются в многоканальных сумматорах или в пространстве в системе фазированных антенных решёток [1].

В процессе непрерывной эксплуатации РЛС неизбежно возникают отказы

СВЧ модулей по различным причинам. В основном эти отказы связаны с отказами комплектующих изделий, которые работают в напряжённых тепловых и электрических режимах [2]. При эксплуатации РЛС, в состав которой входит N_0 твердотельных СВЧ модулей, представляет интерес оценить зависимость числа отказов d от времени наработки t при заданном значении средней наработки $t_{\text{нр}}$ модулей. Это позволит оценить время, в течение которого, несмотря на определённый процент отказов модулей, РЛС сохраняет свою работоспособность.

Алгоритм расчёта

Для решения этой задачи воспользуемся известным выражением для оценки интенсивности отказов λ изделий [3]:

$$\lambda \frac{1}{t_{\text{нсп}}} = \frac{D_p(d, P^*)}{\sum_{j=1}^{N_0} t_{\text{н}j}}, \quad (1)$$

где

$$d = \sum_{j=1}^{N_0} d_j$$

d – суммарное количество отказов, полученное при эксплуатации РЛС (число модулей N_0);

$D_p(d, P^*)$ – табличное значение, зависящее от количества отказов d и доверительной вероятности P^* (приведено в табл. 1 для $P^* = 0,9$ и в табл. 2 для $P^* = 0,6$);

$t_{\text{н}j}$ – время наработки j модуля от начала эксплуатации станции t_{0j} до рассматриваемого момента t_j ;

$t_{\text{нсп}}$ – средняя наработка на отказ модулей, заданная в ТУ.

На основе выражения (1) имеем:

$$D_p(d, P^*) = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} t_{\text{н}j}}{t_{\text{нсп}}}. \quad (2)$$

В соответствии с данными табл. 1 легко аппроксимировать зависимость d от $D_p(d, P^*)$ в виде аналитической функции. Эту функцию можно представить в виде:

$$d = \frac{D_p(P^*) - k_1}{k_2}, \quad (3)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты линейной аппроксимации зависимости $d = f(D, P^*)$ ($k_1 = 1.2547, k_2 = 2.8001$ при $P^* = 0,9$; $k_1 = 1.0441, k_2 = 1.0362$ при $P^* = 0,6$).

С учётом выражения (2) и (3) получаем аналитическую зависимость числа отказов d от времени наработки t модулей в N_c в радиолокационных станциях.

Рассмотрим типичный для практики пример: значение $t_{\text{нсп}} = 30$ тыс. часов, $N_0 = 1000$ шт., время работы наработки РЛС равно t . Для простоты будем считать, что начало эксплуатации всех модулей $t_{0j} = 0$, а $t_{\text{н}j} = k_j t$, где k_j – некоторый коэффициент, значение которого очевидно меньше единицы.

Тогда можно записать выражение для $\sum_{j=1}^{N_0} t_{\text{н}j}$ в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^{N_0} t_{\text{н}j} = \sum_{j=1}^{N_0} k_j t = t \{ \sum_{j=1}^d k_j - d + N_0 \}.$$

Учитывая, что $N_0 \gg \sum_{j=1}^d k_j - d$, получаем:

$$\sum_{j=1}^{N_0} t_{\text{н}j} \approx t N_0. \quad (4)$$

С учётом выражения (4) можно записать формулу для d в следующем виде:

Таблица 1

Значение $D_p(d, P^*)$ при $P^* = 0,9$

d	0	1	2	3	4	5
$D_p(d, P^*)$	2,3	3,9	5,3	6,7	8	9,3

Таблица 2

Значение $D_p(d, P^*)$ при $P^* = 0,6$

d	0	1	2	3	4	5
$D_p(d, P^*)$	0,92	2	3,1	4,2	5,2	6,3

$$d = \frac{\left\{ \frac{N_0 t}{t_{нсп}} - k_1(P^*) \right\}}{k_2(P^*)} \quad (5)$$

При $P^* = 0,6$ выражение (5) с хорошей точностью можно представить в простом виде:

$$\frac{d}{N_0} = \frac{t}{t_{нсп}} \quad (6)$$

На рис. 1 представлены расчётные зависимости d от t при $t_{нсп} = 30$ тыс.ч., построенные в соответствии с выражением (5). Если в условиях эксплуатации РЛС в течение определённого периода t число отказов модулей d не превышает значение установленное на основе проведённой статистической оценки, следовательно реальное значение $t_{нсп}$ для модулей соответствует заданному в ТУ. В противном

случае необходимо провести детальный анализ причин отказов модулей, разработать и внедрить программу повышения $t_{нсп}$.

Выводы

1. При эксплуатации современных РЛС, в составе которых работает большое количество (от сотни до нескольких тысяч) СВЧ твердотельных модулей, число отказов практически линейно увеличивается с ростом времени наработки РЛС и числа модулей в их составе.

2. Число отказов СВЧ модулей в составе РЛС при заданном времени эксплуатации практически обратно пропорционально заданному в ТУ времени средней наработки на отказ $t_{нсп}$.

3. Требования к значению $t_{нсп}$ при разработке СВЧ модулей должно обеспечивать требования по надёжности и живучести РЛС в целом и учитывать величину

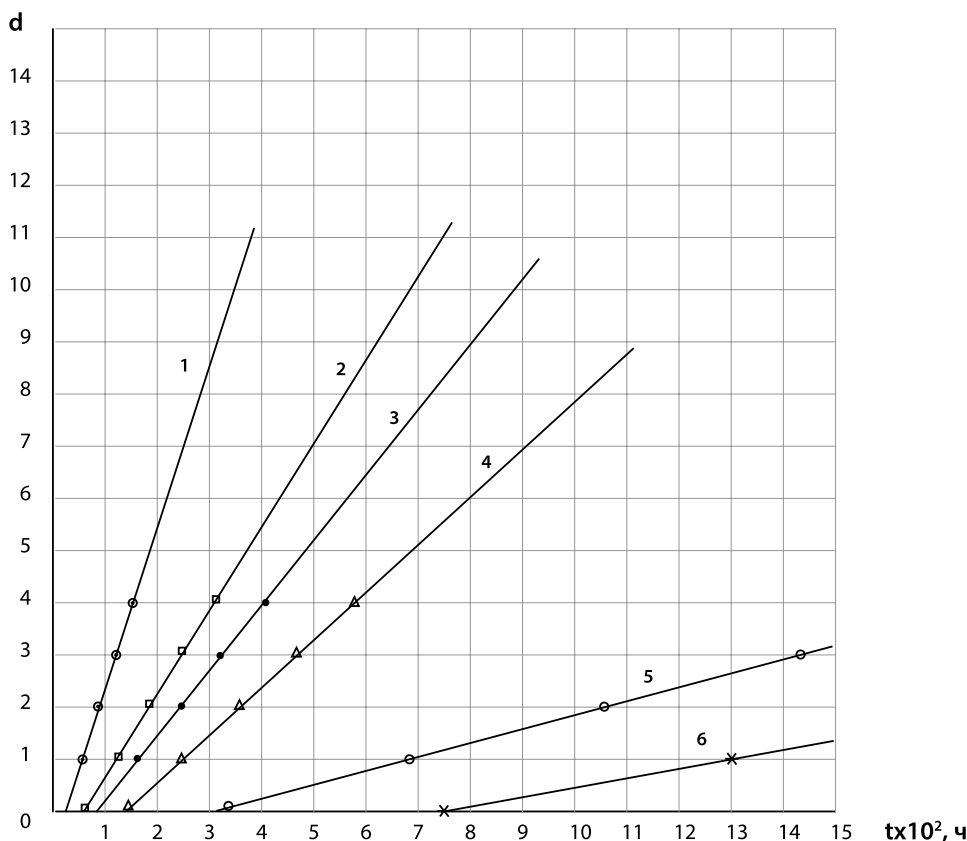


Рис. 1

Расчётная зависимость числа отказов СВЧ модулей d от времени наработки t при $t_{нсп} = 30000$ ч
 (1 – $P^* = 0,6$, $N_0 = 1000$; 2 – $P^* = 0,9$, $N_0 = 1000$; 3 – $P^* = 0,6$, $N_0 = 500$;
 4 – $P^* = 0,9$, $N_0 = 500$; 5 – $P^* = 0,6$, $N_0 = 100$; 6 – $P^* = 0,9$, $N_0 = 100$)

ну ЗИПа. Величина ЗИПа не должна быть меньше числа допустимых отказов в течение заданного времени наработки РЛС.

Литература

1. Аронов В. Л., Евстигнеев А. С. Передающие блоки и модули L и S-диапазонов для радиолокации // Электронная промышленность. – 2003. – С. 42-49.
2. Докучаев Ю. П., Синкевич В. Ф., Таран П. В. Разработка и производство СВЧ модулей радиолокационных станций // Петербургский журнал электроники. – 2004. – № 3-4. – С. 135-146.

3. ГОСТ РВ 20.57.414-97. КСКК. Методы оценки соответствия требованиям к надёжности.

References

1. Aronov V. L., Evstigneev A. S. Transmitting modules and blocks of L and S- band radars. *Elektronnaya promyshlennost* [Electronic industry], 2003, pp. 42-49.
2. Dokuchaev Yu. P., Sinkevich V. F., Taran P. V. Design and manufacture of microwave radar modules. *Peterburgskiy zhurnal elektroniki* [Petersburg electronics magazine], 2004, № 3-4, pp. 135-146.
3. GOST RV 20.57.414-97. CCMA. Methods for assessing compliance with the requirements for reliability.