

Влияние внешних воздействующих факторов на долговечность СВЧ-устройств

Ключевые слова: надежность, безотказность, долговечность, СВЧ-устройства, интенсивность отказов, ресурс.

Рассматриваются методы повышения точности расчетов показателей безотказности и долговечности СВЧ-устройств, которые широко применяются как в бытовых приборах, так и в современных приборах и системах космической техники. Очевидно, что работоспособность таких СВЧ-устройств чрезвычайно важна, так как их отказ ведет отказу радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в целом. Особенностью СВЧ-устройств является то, что в их состав входит большое количество конструктивных (механических) компонентов. При оценке показателей надежности РЭА учитывают только электронную компонентную базу, принимая все конструктивные (механические) компоненты высоконадежными, практически не влияющими величины показателей безотказности, долговечности и сохраняемости. В опровержение этого приведен пример расчета показателей надежности СВЧ-коммутатора и обоснована необходимость учета механических компонентов и временных графиков работы.

Карапузов М.А.,

НИУ ВШЭ МИЭМ магистрант кафедры "Информационные технологии и автоматизированные системы", факультет "Информационные технологии и вычислительной техники", makarapuzov_1@edu.hse.ru

Полесский С.Н.,

НИУ ВШЭ МИЭМ, к.т.н., доцент кафедры "Информационные технологии и автоматизированные системы", факультет "Информационных технологий и вычислительной техники", spolessky@hse.ru

Жаднов В.В., НИУ ВШЭ МИЭМ, к.т.н., профессор кафедры "Радиоэлектроники и телекоммуникации", факультет "Электроники и телекоммуникации", vzhadnov@hse.ru

Данное научное исследование (№ проекта 14-05-0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г. СВЧ-устройства широко применяются как в бытовых приборах, так и в современных приборах и системах космической техники. Очевидно, что работоспособность таких СВЧ-устройств чрезвычайно важна, так как их отказ ведет отказу бортовой аппаратуры в целом. Особенностью СВЧ-устройств является то, что в их состав входит большое количество конструктивных (механических) компонентов.

разъема XW2; 23 – отсутствие питания диода платы XN1; 24 – отсутствие питания диода платы XN2; 25 – отказ одного из диодов VD1-VD8; 26 – отказ одного из диодов VD1-VD8; 28 – нет сигнала на мостах XN8, XN9; 29 – отказ выходов изделия; 31 – отсутствие сигнала моста XN8; 32 – отсутствие сигнала моста XN9; 34 – повреждение токоведущих дорожек моста XN8; 35 – повреждение токоведущих дорожек моста XN9; 37 – отказ выходных разъемов XW3-XW5; 38 – отказ циркулятора W3; 40 – выгорание циркулятора W3; 41 – отказ разъема XW3; 42 – отказ разъема XW4; 43 – отказ разъема XW5; 44 – выгорание разъема XW3; 45 – выгорание разъема XW4; 46 – выгорание разъема XW5; 48 – отказ винтов крепления вентиляй W1, W2; 49 – отказ паяного соединения перемычек плат XN1, XN2; 50 – отказ сварного соединения перемычек плат XN5, XN6; 51 – отказ заглушки; 52 – отказ клеевого соединения плат XN4, XN6; 53 – отказ винтов крышки; 54 – отказ прокладки крышки; 55 – ослабление крепления вентиляй W1, W2; 56 – разрушение паяного соединения перемычек плат XN1, XN2; 57 – разрушение отказ сварного соединения перемычек плат XN5, XN6; 58 – деформация заглушки; 59 – отслоение пленки клея в соединении плат XN4, XN6; 60 – ослабление крепления крышки; 61 – деформация прокладки крышки.

При оценке показателей надежности радиоэлектронной аппаратуры учитывают только электронную компонентную базу, принимая все конструктивные (механические) компоненты высоконадежными, практически не влияющими величины показателей безотказности, долговечности и сохраняемости. Рассмотрим в качестве примера СВЧ-коммутатор, который входит в состав бортовой радиоэлектронной аппаратуры космической техники. Для расчета показателей безотказности было построено дерево отказов (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, работоспособность СВЧ-коммутатора зависит как от отказа электронной части (событие 3), так и от отказа механической части (событие 4).

Для оценки степени влияния механической части на показатели безотказности СВЧ-коммутатора проведен расчет интенсивностей отказов с помощью программного комплекса АСОНИКА-К [4], результаты которого приведены на рис. 2.

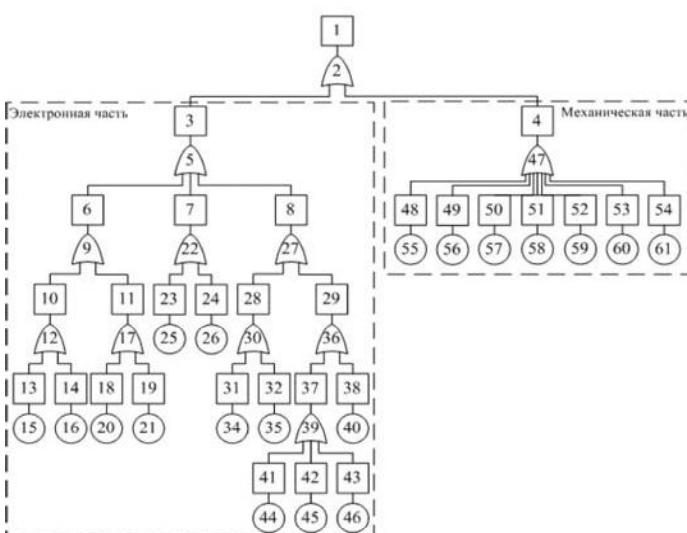


Рис. 1. Дерево отказов коммутатора:
 1 – СВЧ-коммутатор неработоспособен; 3 – нет обработки сигнала; 4 – нарушение крепления и герметизации; 6 – нет сигнала на входе цепи; 7 – нет обработки сигнала в платах; 8 – нет сигнала на выходе; 10 – нет сигнала на входе № 1; 11 – нет сигнала на входе №2; 13 – отказ W1; 14 – отказ XW1; 15 – выгорание вентиля W1; 16 – выгорание разъема XW1; 18 – отказ W2; 19 – отказ XW2; 20 – выгорание вентиля W2; 21 – выгорание

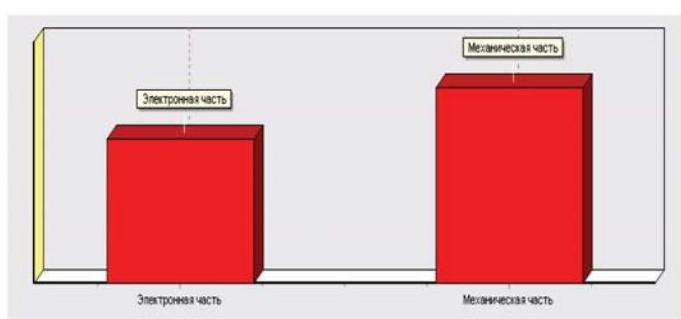


Рис. 2. Интенсивности отказов электронной и механической частей СВЧ-коммутатора

Как видно из рисунка 2 механическая часть имеет даже большую интенсивность отказов, чем электронная, что подтверждает необходимость учета механических элементов при расчетах показателей безотказности СВЧ-устройств.

Теперь рассмотрим, как влияют механические элементы СВЧ-коммутатора на его показатели долговечности, например, гамма-процентный ресурс.

Значения гамма-процентного ресурса для предельных и облегченных условий эксплуатации приведены в ТУ на компоненты. Методы оценки значений гамма-процентного ресурса приведены в ОСТ 4Г.012.013 [1]. Однако в этих методах временной график работы изделия учитывается весьма приближенно (с помощью коэффициента эффективности эксплуатации), который учитывает только два режима применения «работа» – «ожидание», в то время как реальная аппаратура до запуска в космос проходит различные проверки на земле, транспортируется к месту запуска, хранится и т.д. Поэтому при оценке значения гамма-процентного ресурса необходимо учитывать неравномерность расходования ресурса в зависимости от режимов применения.

Одним из возможных путей решения этой задачи является использование нормировки ресурса относительно одного, предварительно выбранного режима применения (для определенности назовем его «ресурс при нормальных условиях» – $T_{p,n.y.}$). В результате такой нормировки можно получить коэффициент пропорциональности расходования ресурса $K(T_p)$: для $T_p = T_{p,n.y.}$ он будет равен единице, для более легких условий применения этот коэффициент будет строго больше единицы, для более жестких условий – строго меньше единицы:

$$K(T_p) = \begin{cases} > 1, & \text{при } T_p > T_{p,n.y.} \\ 1, & \text{при } T_p = T_{p,n.y.} \\ < 1, & \text{при } T_p < T_{p,n.y.} \end{cases} \quad (1)$$

Выражение (1) не противоречит и данным из ТУ, так как для облегченных условий ресурс больше, чем для предельных, а следовательно и результат нормировки относительно $T_{p,n.y.}$.

Использования такого коэффициента позволяет рассчитать израсходованный ресурс за время эксплуатации изделия в условиях каждого режима применения. Для каждого отрезка времени эксплуатации в данном режиме можно найти разницу между значением ресурса в этом режиме и нормальным:

$$T_p = T_{p,n.y.} - \sum_{i=1}^n t^{(i)} \cdot \left(\frac{1}{K_i(T_p)} - 1 \right) \quad (2)$$

где $T_{p,n.y.}$ – значение ресурса для нормального режима применения; n – количество режимов применения (исключая нормальный); $t^{(i)}$ – время работы в i -ом режиме; $K_i(T_p)$ – коэффициент пропорциональности расходования ресурса для i -го режима.

В ТУ обычно приводятся значения ресурса для предельных и облегченных условий эксплуатации. Методика расчета ресурса для режима циклического применения приведена в [2], в основе которой лежит соотношение:

$$T_p = \frac{T_p(\text{ПУ})}{K_H \cdot K_H} \quad (3)$$

где $T_p(\text{ПУ})$ – заданное в ТУ значение ресурса для предельных условий эксплуатации; K_H – коэффициент использования; K_H – коэффициент нагрузки (по критичному параметру).

$$K_H = \frac{t_{\Sigma pp}}{t_{\Sigma pp} + t_{\Sigma oжж}} \quad (4)$$

где $t_{\Sigma pp}$, $t_{\Sigma oжж}$ – суммарное время нахождения в режиме работы и режиме ожидания за период эксплуатации.

$$K_H = \frac{\Psi_{pp}}{\Psi_{nom}} \quad (5)$$

где Ψ_{pp} – значение критичного параметра в режиме работы; Ψ_{nom} – номинальное значение критичного параметра согласно ТУ.

На рисунке 3 приведен временной график эксплуатации СВЧ-коммутатора

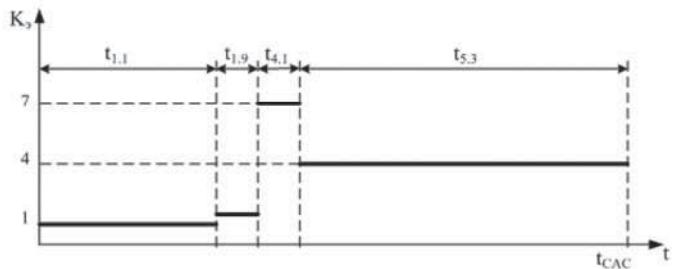


Рис. 3. Временной график эксплуатации СВЧ-коммутатора

Как видно из рис. 3 сначала коммутатор хранится в помещении (на складе) в течение одного года (8760 часов), что соответствует группе 1.1 [8], в дальнейшем транспортируется каким-либо видом транспорта (группа 1.3 – для автомобильного, 3.1 – авиационного, 1.9 – железнодорожного) к месту пуска ракеты-носителя в течение 5 дней (120 часов), после чего происходит запуск в составе ракеты-носителя и вывод на орбиту (группа 4.1) в течение 2 суток (48 часов) и, наконец, осуществляет свои основные функции (прием и передача в сигнала СВЧ-диапазона) до окончания срока активного существования в условиях группы 5.3. Исходя из временного графика эксплуатации СВЧ-коммутатора, можно сделать вывод, что его ресурс расходуется неравномерно.

Результаты расчета показателей надежности составных частей СВЧ-коммутатора приведены в табл. 1.

Таблица 1
Показатели надежности СВЧ-коммутатора

Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания	Ресурс				
			1.1	1.9	4.1	5.3	Итоговый
Электронная часть							
ФПВН2-88	7,30e-08	8,76e-10	120000	80000	21800	60000	64300
ФЦП2-13	1,90e-07	8,93e-10	120000	80000	21800	60000	64300
СРГ-50 (ВР0.364.026ТУ)	5,49e-09	7,69e-09	200000	133000	53300	100000	104000
Пайка ЭРИ волной	6,90e-10	6,90e-12	131400	87600	35000	65700	70000
2А517А-2Н, Б-2Н	4,50e-08	1,68e-09	50000	47600	10000	17800	23400
Печатный монтаж	3,40e-11	3,40e-13	500000	230800	95200	178600	184000
Механическая часть							
Винт крепления вентиля	1,00e-09	1,00e-11	876000	584500	233600	438000	442400
Пайка перемычек	1,20e-09	1,20e-11	131400	87600	35000	65700	70000
Сварка провода к контактным площадкам	2,40e-10	2,40e-12	87600	58400	23300	43800	48100
Заглушка разъема фторопласт Ф-4 (или Ф5)	3,60e-07	3,60e-08	175200	116800	46700	87600	91970
Клееное соединение платы	2,40e-08	2,40e-09	61300	40800	16300	30600	34900
Винт крепления крышки	6,00e-09	6,00e-11	876000	584500	233600	438000	442400
Прокладка крышки	2,88e-07	2,88e-08	43800	29200	11600	21900	26200
Пайка крышки и герметизация	2,40e-07	2,40e-09	131400	87600	35000	65700	70000

При расчете итогового ресурса в табл. 1 с помощью выражения (2) за «нормальный» режим принятые условия группы аппаратуры 5.3 по [3]. Как следует из табл. 1 итоговый ресурс в среднем на 4000 часов выше, чем ресурс для группы аппаратуры 5.3 (чуть менее полугода).

Результаты расчета показателей надежности СВЧ-коммутатора приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета показателей надежности
СВЧ-коммутатора**

Наименование компонента	Эксплуатационная интенсивность отказов, 1/ч	Интенсивность отказов в режиме ожидания, 1/ч	Гамма-процентный ресурс, ч
Электронная часть	7,27e-07	5,56e-08	23400
Механическая часть	9,92e-07	7,26e-08	26200
Коммутатор	1,71806079201876E-6	1,281957368E-7	23400

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проведенные расчеты подтвердили необходимость учета механических компонентов СВЧ-устройств и временных графиков их работы. В свете ужесточения требований к показателям надежности аппаратуры не всегда можно позволить себе роскошь получения лишь приближенной оценки как показателей безотказности, так и показателей долговечности, так как это может дать как завышенную, так и заниженную оценку.

Литература

1. ОСТ 4Г0.012.013-84. Аппаратура радиоэлектронная. Определение показателей долговечности.
2. Жаднов В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем // Надежность и качество сложных систем, 2013. – №2. – С. 65-73.
3. ГОСТ РВ 20.39.304-98. КСОТТ. Требования к стойкости внешних воздействующих факторов.
4. Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Полесский С.Н. Информационная технология обеспечения надёжности электронных средств наземно-космических систем: научное издание. – Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2012. – 565 с.

Addiction of environment factors to of SHF devices

Karapuzov M.A., NRU HSE MIEM, undergraduate of the first year of training faculty "Faculty of Information Technology and Computer Engineering", makarapuzov_1@edu.hse.ru

Polesskiy S.N., NRU HSE MIEM, associate professor faculty "Faculty of Information Technology and Computer Engineering", spolessky@hse.ru

Zhadnov V.V., NRU HSE MIEM, professor faculty "Electronics and telecommunications", vzhadnov@hse.ru

Abstract

In article methods of increase of accuracy of measure calculations of non-failure operation and durability of microwave devices which are widely applied both in household appliances, and in modern devices and systems of space engineering are considered. It is obvious that operability of such microwave devices is extremely important as their refusal conducts to failure of the radio-electronic equipment (REA) as a whole. Feature of microwave devices is that a large number of constructive (mechanical) components is their part. However, in case of an assessment of indicators of reliability of REA consider only electronic component base, accepting all constructive (mechanical) components highly reliable, almost not influencing sizes of indicators of non-failure operation, durability and a keeping. In confutation of it in article the example of measure calculation of reliability of the microwave switchboard is given and need of accounting of mechanical components and temporary working schedules is proved.

Keywords: reliability, non-failure operation, durability, microwave devices, failure rate, resource.

References

1. ОСТ 4Г0.012.013-84. Radio-electronic equipment. Tion-defined indicators of longevity.
2. Zhadnov V.V. The estimated parameters of durability of electronic means of spacecraft and systems / Reliability, and quality of complex systems, 2013. No 2. Pp. 65-73.
3. GOST RV 20.39.304-98. KSOTT. Requirements for resistance external influencing factors.
4. Abrameshin A.E., Zhadnov V.V., Polesskiy S.N. Information-technology onnaya ensure the reliability of electronic means of ground and space systems: scientific publication. Yekaterinburg, 2012. 565 p.