



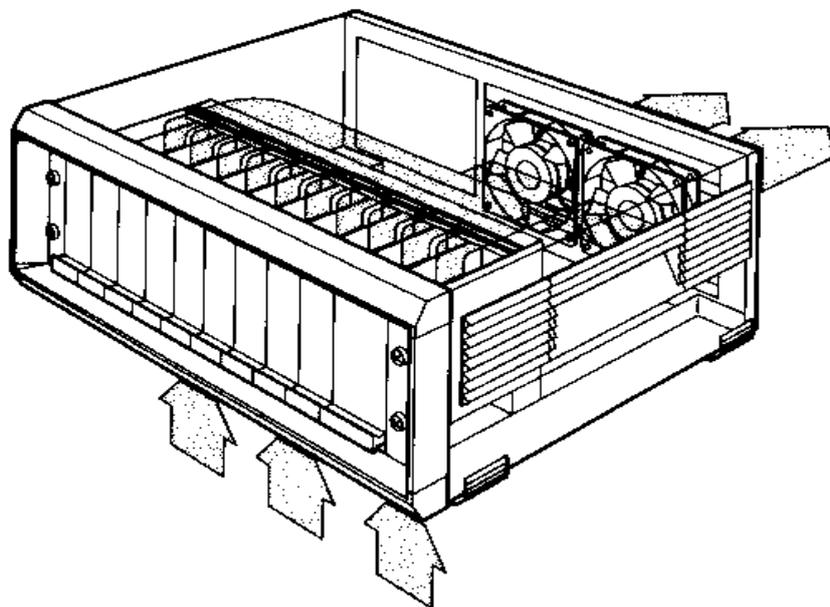
Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

---

**А.К.Кондаков**

# **РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА РЭС**

Методическое пособие для выполнения практического занятия  
для студентов радиотехнического факультета по дисциплине  
«Основы конструирования и технологии производства  
радиоэлектронных средств»



Томск 2012

## 1 Расчёт надёжности функционального узла РЭС

Пригодность любого изделия к использованию по назначению определяется качеством изделия, которое оценивается совокупностью свойств, присущих изделию. Одним из таких свойств является надёжность.

Надёжность - это свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Расчет надёжности заключается в определении показателей надёжности изделия по известным характеристикам надёжности составляющих компонентов и условиям эксплуатации. Выбор метода расчета зависит от класса радиоаппаратуры и стадии ее разработки.

Надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Количественно надёжность оценивается величинами, получившими название показателей надёжности. Основными из них являются – интенсивность отказов ( $\lambda_{\Sigma}$ ), наработка на отказ ( $T_0$ ), вероятность безотказной работы за заданное время

Надёжность относится к числу свойств, которые проявляются при использовании изделий по назначению в течение некоторого времени.

Рассмотрим временные параметры, характеризующие надёжность (наработку, ресурс, сроки службы и сохраняемости и др.).

Наработка - продолжительность работы изделия, измеряемая в часах, циклах, кубометрах, или в других единицах.

Наработка до отказа - это наработка объекта (изделия, устройства и т.д.) от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. Нарботка между отказами - это наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс - это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Состояние объекта непрерывно изменяется с увеличением времени и с увеличением наработки объекта. Изменение состояния РЭС происходит непрерывно под действием процессов старения материалов, используемых в конструкции, а также при появлении дефектов, повреждений и отказов.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Критерии отказа - это признаки или совокупность признаков нарушения работоспособности объекта, установленные в нормативно-технической документации (НТД).

Одним из объективных свойств состояния РЭС является его безотказность.

Безотказностью называют свойство объекта (РЭС) непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Для оценки такого состояния для необслуживаемых, невосстанавливаемых и неремонтируемых РЭС в качестве показателей безотказности используют вероятность безотказной работы ( $P(t)$ ), интенсивность отказов ( $\lambda_{\Sigma}$ ), среднюю наработку до отказа ( $T_0$ ).

**Вероятность безотказной работы  $P(t)$**  - это вероятность того, что в пределах заданной наработки ( $t$ ) отказ объекта не возникнет. Нарботка - это продолжительность исправной работы объекта. Нарботка до отказа - это наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Статистическая оценка для вероятности безотказной работы  $P(t)$  производится по формуле:

$$P(t) = 1 - n(t) / N,$$

где:  $N$  – число объектов, работоспособных в начальный момент времени (наработки);  $n(t)$  - число объектов, отказавших на отрезке времени от 0 до  $t$ .

Наряду с понятием «вероятность безотказной работы» часто используют понятие «вероятность отказа»  $Q(t)$ , то есть вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени:

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Следующим важным понятием теории надежности является **интенсивность отказов** элементов и соединений РЭС  $\lambda(t)$  – это условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Статистическая оценка для интенсивности отказов  $\lambda(t)$  имеет вид

$$\lambda(t) = [n(t) + \Delta t] / \{[N - n(t)] \cdot \Delta t\} \quad \lambda(t) = \frac{n(t) + \Delta t}{[N - n(t)] \cdot \Delta t}$$

где:  $n(t)$  число отказавших элементов за определенный промежуток времени,  $N$  – общее число элементов объекта.

Типичная зависимость интенсивности отказов  $\lambda$  от времени (от наработки)  $t$  изображена на рисунке 1. На участке нормальной и, как правило, продолжительной работы *II* изделий, находящемся между участком приработки изделий *I* и участком постепенных износных отказов *III*, интенсивность отказов  $\lambda$  определяется только внезапными отказами и постоянна, то есть не зависит от времени.

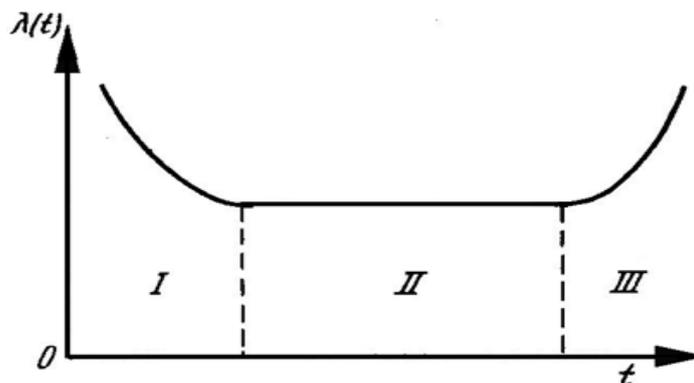


Рисунок 1 - Типичная зависимость интенсивности отказов от времени

Для этого участка формула для расчёта вероятности безотказной работы упростится:

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$$

Общую суммарную интенсивность отказов  $\lambda_c$  сложного изделия, структурно состоящего из различных групп, можно рассчитать по формуле:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^m N_i \lambda_i$$

где  $N_i$  – количество элементов в  $i$ -той группе, имеющих одинаковую интенсивность отказов;

$\lambda_i$  - интенсивность отказов в  $i$ -той группе элементов;

$m$  – количество групп элементов.

Среднее **время наработки на отказ**  $T_0$  это математическое ожидание наработки объекта до первого отказа и определяется она как величина, обратная  $\lambda_c$ .

$$T_0 = 1/\lambda_c.$$

На интенсивность отказов элементов и соединений в радиоэлектронной аппаратуре влияют многочисленные внешние условия. Это и условия эксплуатации, и изменение температуры окружающей среды, и нагрузка элементов при их работе в электрической схеме и т.д. Чтобы объективно учесть эти условия, в выражение для интенсивности отказов вводят поправочные коэффициенты, и формула для  $\lambda_c$  приобретает следующий вид:

$$\lambda_c = \lambda_{icp} \cdot K_{эi} \cdot K_{ti} \cdot K_{ni} ,$$

В приведенной формуле:  $\lambda_{icp}$  - средняя интенсивность отказов, соответствующая среднему числу отказов применяемых элементов и соединений в течение одного часа непрерывной работы.

Влияние условий эксплуатации РЭС учитывается эксплуатационным коэффициентом  $K_{эi}$ ; изменение температуры окружающей среды учитывается температурным коэффициентом  $K_{ti}$ ; нагрузка элементов при их работе в электрической схеме учитывается нагрузочным коэффициентом  $K_{ni}$ .

Значения названных поправочных коэффициентов выбирают из ниже приведенных таблиц или справочников.

Таблица 1 - Температурные коэффициенты

Температура, С°	$K_{ti}$
10÷20	1
20÷70	1,5

Таблица 2 - Эксплуатационные коэффициенты

Вид РЭС, условия эксплуатации	Значение $K_{э}$
Лабораторные условия (нормальные условия)	1,0
Лабораторное помещение (кондиционирование воздуха)	0,5
Помещения с регулируемой температурой и влажностью	1,1
Космос (на орбите)	1,5
Подвижные установки	1,5
Наземные стационарные условия	2...4,7 (2,5)
Наземные возимые РЭУ	4...7 (5,0)
Наземные подвижные (переносимые) РЭУ	7...15 (7,0)
Морские незащищенные условия	7...15 (10,0)
Морские защищенные условия	7...12 (7,6)
Бортовые самолетные РЭУ	5...10 (7,0)
Запуск ракеты	10...44 (20,0)

В скобках в таблице 2 указаны значения, рекомендуемые для использования в расчетах.

Таблица 3 – Нагрузочные коэффициенты

Уровень нагрузки по отношению к максимально допустимой		$K_{н}$
Резисторы	0.1 максимальной нагрузки	1
	Максимальная нагрузка	1.5
Конденсаторы	0.1 максимальной нагрузки	1
	Максимальная нагрузка	3
Микросхемы	Номинальная мощность	1
Диоды	0.1 максимальной нагрузки	1
	Максимальная нагрузка	1.5

Нагрузочный коэффициент для различных элементов определяют исходя из таблицы 3, по уровню нагрузки ( $U_{н.к}$ ), который определяется следующим образом:

а) для конденсаторов:

$$U_{н.к} = U_p / U_{ном}$$

где  $U_p$  – рабочее напряжение приложенное к конденсатору;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение конденсатора.

б) для резисторов:

$$U_{н.р} = P_{рас}/R_{ном}$$

где  $P_{рас}$  – рассеиваемая мощность на элементе;

$R_{ном}$  – номинальная рассеиваемая мощность элемента.

в) для диодов:

$$U_{н.д} = I_d/I_{ном}$$

где  $I_d$  – фактический ток диода;

$I_{ном}$  – номинальный ток диода.

Если  $U_n \leq 0.1$  то  $K_n = 1$ , если  $0.5 > U_n > 0.1$  то  $K_n = 1.5$ .

Для транзисторов, аналого-цифровых микросхем, паяных соединений, трансформаторов и разъемов принимают  $K_n = 1$ .

Приведем порядок расчета надежности для изделия РЭС. Пример условной элементной базы электрической схемы изделия приведен в таблице 4 (первый столбик).

При выполнении задания составляют таблицу расчета интенсивности отказов аналогично примеру, приведенному ниже в таблице 4, и заполняют ее первый столбик перечислением всех электрорадиоэлементов составляющих электрическую принципиальную схему варианта задания.

В качестве расчетного задания студент выбирает тот вариант схемы по проектированию печатной платы функционального узла (ФУ), который следует ему выполнить с использованием САПР РСAD. По электрической схеме в соответствии с количеством однотипных элементов заполняется второй столбик таблицы.

На стадии анализа электрической принципиальной схемы ФУ нормы показателей интенсивности отказов её элементов можно задать, опираясь на информацию о показателях надёжности у изделий-прототипов. Если прототипы не известны, то ориентировочно выбирают интенсивности отказов элементов схемы  $\lambda_i$  из справочников и заполняют в таблице четвертый столбик.

Обязательно следует заполнить третий столбик таблицы, так называемый коэффициент нагрузки, который характеризует нагрузочные режимы работы схемных элементов функционального узла, т.е. отличие реальной электрической нагрузки каждого элемента в схеме от его номинальной, на которую он рассчитан и выпущен (обычно указывается в технических условиях (ТУ) для данного элемента).

Таблица 4 – Интенсивность отказов проектируемого устройства (пример)

Наименование элемента	Кол-во элементов	$K_n$	Интенсивность отказов элемента	Интенсивность отказов группы элементов
1	2	3	4	5
Микросхемы	33	1	$0.2 \cdot 10^{-6}$	$6.6 \cdot 10^{-6}$
Индикаторы	20	1	$0.2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$

Резисторы	22	1	$0.05 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-6}$
Конденсаторы	6	1	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$0.6 \cdot 10^{-6}$
Транзисторы кремниевые малой мощности	2	1	$0.4 \cdot 10^{-6}$	$0.8 \cdot 10^{-6}$
Диодный мост	2	1.5	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$0.3 \cdot 10^{-6}$
Кварцевый резонатор	1	1	$0.75 \cdot 10^{-6}$	$0.75 \cdot 10^{-6}$
Печатная плата	1	1	$0.2 \cdot 10^{-6}$	$0.2 \cdot 10^{-6}$
Места паянных соединений	126	1	$0.04 \cdot 10^{-6}$	$5.04 \cdot 10^{-6}$
Разъем	2	1	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$0.2 \cdot 10^{-6}$
Общая интенсивность отказов, $\lambda_c$				$19.15 \cdot 10^{-6}$

После определения общей интенсивности отказов  $\lambda_c$  функционального узла следует учесть при расчете надежности условия эксплуатации этого узла в составе РЭС, что осуществляется через дополнительные коэффициенты  $K_\varepsilon$  и  $K_t$ .

Влияние условий эксплуатации функционального узла в составе РЭС учитывается эксплуатационным коэффициентом  $K_\varepsilon$ ; изменение температуры окружающей среды учитывается температурным коэффициентом  $K_t$ . Значения этих коэффициентов выбирают из вышеприведенных таблиц данного пособия, из справочников или из таблиц в литературе по надёжности.

Таким образом, окончательное выражение для общей интенсивности отказов  $\lambda_{oc}$  функционального узла приобретает вид:

$$\lambda_{oc} = \lambda_c \cdot K_\varepsilon \cdot K_t .$$

Средняя наработка до отказа изделия равна

$$T_0 = 1/\lambda_{oc} .$$

Вероятность безотказной работы изделия (системы)  $P_c(t)$  рассчитывают для проектируемого устройства на заданном промежутке времени ( $t$ ) по формуле

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_{oc} \cdot t),$$

где:  $\lambda_{oc}$  - интенсивность отказов всей системы (изделия);

$t$  – заданный срок службы изделия, или заданное время на промежутке которого следует определить вероятность безотказной работы изделия;

$\lambda_i$  - интенсивность отказов  $i$ -го узла, блока и т.п., входящих в изделие;

$N$  – число отдельных узлов, блоков и т.д., составляющих исследуемое изделие или систему.

При необходимости более уточненного расчета надежности изделия следует включать в расчет надежности дополнительные коэффициенты, учитывающие, к примеру, воздействие на РЭС ударов и вибраций, температуры и влажности, пониженного атмосферного давления и других факторов. Численные значения дополнительных коэффициентов можно найти в справочной литературе по надёжности.

## **2 Используемая литература**

2.1 Козлов В.Г., Кобрин Ю.П., Кондаков А.К. Основы проектирования электронных средств: Методическое пособие / Томск, ТУСУР, 2006г., 172 с.

2.2 Основы проектирования электронных средств. Общие принципы проектирования : учебное пособие / В. Г. Козлов, А. П. Бацула, Ю. П. Кобрин ; - Томск : ТУСУР, 2005. - 150 с.