

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»  
АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

**А.В. БАРАНОВА**

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева в качестве учебно-  
методического пособия для студентов направления 11.03.03  
“Конструирование и технология электронных средств” всех форм обучения*

**Нижний Новгород 2018**

**УДК 621.396.6.049.77**

**ББК 32.844**

**Б 24**

**Рецензент**

кандидат технических наук, заместитель начальника ГО-11

ПАО АНПП «Темп-Авиа» *В.И. Слащев*

**Баранова А.В.**

**Б 24 Теоретические основы конструирования надежности электронных средств:** учебно-метод. пособие / А.В. Баранова; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – Нижний Новгород, 2018. – 83 с.

**ISBN 978-5-502-01129-7**

Изложены основные сведения, необходимые для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теоретические основы конструирования надежности электронных средств» направления 11.03.03 «Конструирование и технология ЭС».

Приведены требования к содержанию и оформлению пояснительной записки и графического материала, даны рекомендации по выполнению курсовой работы, в приложении приведены справочные материалы по надежности ЭРЭ.

Рис. 7. Табл. 2. Библиограф.: 10 назв.

**УДК 621.396.6.049.77**

**ББК 32.844**

**ISBN 978-5-502-01129-7**

**© НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018**

**© Баранова А.В., 2018**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Общие сведения о курсовом проектировании по дисциплине «Теоретические основы конструирования надежности электронных средств»</b> .....	4
1.1. Тематика курсовых работ.....	4
1.2. Задание на курсовую работу.....	5
<b>2. Методические указания по выполнению курсовой работы</b> .....	5
2.1. Электрический расчет функционального узла и выбор элементной базы.....	6
2.2. Расчет надежности по внезапным отказам при основном соединении элементов.....	9
2.3. Расчет надежности микросборок.....	13
<b>3. Оценка надежности ремонтируемой РЭС</b> .....	15
3.1. Определение коэффициента оперативной готовности.....	15
3.2. Расчет коэффициентов готовности некоторых систем.....	15
3.2.1. <i>Нерезервированная ремонтируемая система</i> .....	15
3.2.2. <i>Система с ненагруженным резервом</i> .....	16
3.2.3. <i>Система с нагруженным резервом</i> .....	17
<b>4. Оценка воспроизводимости параметров ФУ и прогнозирование стабильности при эксплуатации</b> .....	17
4.1. Составление уравнения погрешностей.....	17
4.2. Определение допуска на выходной параметр с гарантированной надежностью $P_{\text{ПАР}}$ и коэффициентом запаса $\xi$ .....	19
4.3. Расчет допусков влажности.....	20
4.4. Расчет температурных допусков.....	20
4.5. Расчет допусков старения.....	21
4.6. Расчет суммарного эксплуатационного допуска.....	22
<b>5. Оформление курсовой работы</b> .....	24
5.1. Оформление расчетно-пояснительной записки.....	25
5.2. Оформление графического материала.....	27
5.3. Перечень элементов.....	28
<b>Библиографический список</b> .....	30
<b>Приложения</b> .....	32

# **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»**

Курсовая работа является заключительным этапом изучения студентами дисциплины "Теоретические основы конструирования надежности электронных средств".

Цель работы: получение навыков в методах оценки качественных характеристик РЭС (точности, стабильности и надежности) в реальных условиях эксплуатации.

При выполнении курсовой работы студенты должны использовать материалы курсов:

- "Основы радиоэлектроники и связи", "Электротехника и электроника", "Схемотехника электронных средств" - для расчета электрических режимов элементов схем,
- "Материалы и компоненты ЭС" - при выборе типов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и их номиналов.
- "Информатика" - для расчета надежностных характеристик РЭС путем грамотного выбора программных продуктов и средств вычислительной техники.

## **1.1. Тематика курсовых работ**

Курсовые работы могут быть расчетно-экспериментальными, расчетно-теоретическими и исследовательскими, базирующимися на вероятностных и статистических методах расчета теории надежности, точности, стабильности, прогнозирования и принятия решений, которые используются при проектировании РЭС.

Темы курсовых работ:

- расчет надежности восстанавливаемого (ФУ) с микросборкой (МСБ) без резерва;
- расчет надежности восстанавливаемого ФУ без МСБ без резерва;
- расчет надежности восстанавливаемого ФУ с МСБ с нагруженным резервом порядка « $m$ »;
- расчет надежности восстанавливаемого ФУ с МСБ с ненагруженным резервом порядка « $m$ »;

- расчет стабильности параметров ФУ по действиям эксплуатационных факторов;
- расчет точности электрических параметров ФУ.

Темами курсовых работ могут быть и другие вопросы, например: экспериментальные и теоретические исследования качества отдельных узлов РЭС; разработка алгоритмов и программ оценки параметров качества конструкций РЭС; аналитическое исследование отказоустойчивости аналоговых и цифровых узлов РЭС; применение теории прогнозирования и принятия решений для оптимизации параметров РЭС и др.

## 1.2. Задание на курсовую работу

Каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовую работу, согласно формы, **приведенной в прил. Б.**

Задание содержит:

- тему курсовой работы;
- исходные данные к работе (в виде электрической принципиальной схемы ФУ, технических требований к РЭС, качеству и т.д.);
- перечень подлежащих разработке вопросов;
- перечень графического материала.

Указывается срок сдачи законченной работы и дата выдачи задания, проставляются подписи студента и руководителя.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется в несколько этапов, которые должны быть отражены в пояснительной записке. В пояснительную записку входят следующие разделы:

1. Задание к курсовой работе.
2. Анализ задания (с описанием принципа работы схемы) и выбор метода решения.
3. Расчетная часть.
4. Экспериментальная часть (для исследовательских работ) с описанием эксперимента и обработанными экспериментальными данными.

5. Заключение, в котором дается анализ расчетных (экспериментальных) данных и делаются выводы по работе.

6. Список используемых источников.

Рекомендуемый перечень разделов может корректироваться в зависимости от содержания задания. Наиболее важным является раздел 3, который в общем случае состоит из трех частей:

- электрический расчет функционального узла и выбор элементной базы;
- расчет надежности функционального узла по внезапным отказам;
- оценка воспроизводимости параметров ФУ и прогнозирование стабильности при эксплуатации.

Рассмотрим более подробно особенности выполнения каждой части.

## **2.1. Электрический расчет функционального узла и выбор элементной базы**

В настоящее время различают три метода расчета надежности РЭС по внезапным отказам [1]: окончательный, прикидочный и ориентировочный. Окончательный производится по электрической принципиальной схеме узла. Для того, чтобы рассчитать надежность, необходимо знать реальные режимы работы всех ЭРЭ, которые позволяют определять коэффициенты режима работы  $\alpha$ , зависящие от коэффициента электрической нагрузки  $K_n$  и температуры  $t$  °С.

Коэффициенты электрической нагрузки  $K_n$  в общем случае определяются по формуле

$$K_n = \mathcal{E}_p / \mathcal{E}_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_p$  и  $\mathcal{E}_{\text{доп}}$  - реальное и допустимое значение электрического параметра.

Расчет реального значения допустимого параметра производится в соответствии с [3], допустимое значение  $\mathcal{E}_{\text{доп}}$  берется из справочников по элементной базе [5,7] для выбранных типов ЭРЭ. Если задана только электрическая принципиальная схема, то необходимо выбрать типы активных ЭРЭ, типономиналы и допуски пассивных ЭРЭ. Сведения о выбранных ЭРЭ с указанием справочных данных обязательно отражаются в пояснительной записке.

При использовании соотношения (1) необходимо учитывать, что обе величины должны совпадать по характеру: постоянные, средние, переменные,

импульсные и т.д. Если радиоэлемент имеет несколько параметров, влияющих на надежность, вычисляются коэффициенты  $K_n$  по всем параметрам (напряжению  $K_n^u$ , току  $K_n^i$  и т.д.) и из них выбирается максимальный:

$$K_n = \max \{ K_n^u, K_n^i, K_n^p, \dots \} . \quad (2)$$

Приведем соотношения для расчета  $K_n$  типовых ЭРЭ.

**Резисторы.** Для резисторов  $K_n$  определяют по средней мощности  $P$ :

$$K_{nr} = P/P_{\text{доп}} , \quad (3)$$

где  $P = I_r^2 R = U_r^2/R$  ;  $I_r = [(1/T) \int_0^T i_r^2 dt ]^{1/2}$  – средний ток через резистор ;  $i_r(t)$  – мгновенное значение тока ;  $U_r$  – среднее напряжение на резисторе.

**Конденсаторы.** Для конденсаторов  $K_n$  определяется по максимальному напряжению  $U$  между обкладками:

$$K_{nc} = U/U_{\text{доп}} . \quad (4)$$

**Диоды.** В зависимости от типа диода расчет производится по формулам:

а) выпрямительный

$$K_{нд} = \max \{ K_n^p, K_n^u, K_n^i \} , \quad (5)$$

здесь коэффициенты нагрузки:

- по мощности –  $K_n^p = P/P_{\text{доп}}$ , где  $P = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)u(u)dt$  – средняя

мощность;

- по напряжению –  $K_n^u = U_{\text{обр}}/U_{\text{обр max}}$ , где  $U_{\text{обр}}$  - обратное напряжение на диоде;

- по току –  $K_n^i = I_{\text{вып}}/I_{\text{вып max}}$ , где  $I_{\text{вып}}$  - средний выпрямленный ток:

$$I_{\text{вып}} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt ;$$

б) импульсный: расчет идет по формуле (5), только для импульсных значений параметров ( $P_{\text{имп}} = U_{\text{имп}} I_{\text{имп}}$  и т.д.);

в) стабилитрон

$$K_{\text{н}} = \max \{ K_{\text{н}}^p, K_{\text{н}}^i \}, \quad (6)$$

где  $K_{\text{н}}^p$  – определяется по мощности аналогично выпрямительному диоду;  
 $K_{\text{н}}^i = I_{\text{обр}}/I_{\text{обр max}}$  – определяется по обратному току.

**Транзисторы** (биполярные или полевые).

$$K_{\text{н}}^T = \max \{ K_{\text{н}}^p, K_{\text{н}}^u, K_{\text{н}}^{u_2}, K_{\text{н}}^i \}, \quad (7)$$

где коэффициенты нагрузки:

$K_{\text{н}}^p = P_{\text{к}}/P_{\text{к.доп}}$  – по мощности, рассеиваемой на коллекторе (стоке):

$$P_{\text{к}} = I_{\text{к}} U_{\text{кэ}}, \quad (8)$$

мощность может быть как импульсная, так и средняя за период;

$K_{\text{н}}^i = I_{\text{к}}/I_{\text{к доп}}$  – по току коллектора (стока);

$K_{\text{н}}^{u_1} = U_{\text{кэ}}/U_{\text{кэ.доп}}$  – по напряжению "коллектор-эмиттер" (сток-исток);

$K_{\text{н}}^{u_2} = U_{\text{кб}}/U_{\text{кб.доп}}$  – по напряжению "коллектор-база" (сток-затвор).

**Микросхемы.** Поскольку микросхемы проектируются так, чтобы нагрузки ЭРЭ были примерно одинаковы, то коэффициент нагрузки рассчитывается интегрально по всем элементам ИС, при этом надо учитывать внешнюю нагрузку и напряжение питания  $U_{\text{пит}}$ . Степень внутренней нагрузки принято брать равной  $K_{\text{н}} = (0.3 \dots 0.4)$  для типовой схемы включения и максимального  $U_{\text{пит}}$ . При снижении  $U_{\text{пит}}$  идет пропорциональное уменьшение  $K_{\text{н}}$ . Степень внешней нагрузки в зависимости от типа ИС выражается одним из соотношений:

$$K_{\text{вн}} = I_{\text{н}}/I_{\text{н.доп}} \quad \text{или} \quad K_{\text{вн}} = R_{\text{н.доп}}/R_{\text{н}}, \quad (9)$$

где  $I_{\text{н}}$  и  $R_{\text{н}}$  – реальные ток и сопротивление нагрузки ИС, а  $I_{\text{н.доп}}$  и  $R_{\text{н.доп}}$  – их предельные значения (справочные данные).

Для цифровых ИС

$$I_{\text{н}} = I_{\text{в max}} K_{\text{р}}, \quad (10)$$

где  $I_{в\ max}$  - максимальный ток по одному входу,  $K_p$  – коэффициент разветвления по одному входу (число задействованных выводов).

Максимально возможная нагрузка

$$I_{в,доп} = I_{в\ max} K_{p\ max}, \quad (11)$$

где  $K_{p\ max}$  - максимально допустимое число внешних нагрузок, подключаемых к выходу ИС.

Зная степень внутренней и внешней нагрузки, можно определить коэффициент нагрузки микросхемы:

$$K_{н.ис} = \begin{cases} 0,3; & \text{если } K_{вн} \leq 0,4 - \text{слабая нагрузка;} \\ 0,7K_{вн} & > 0,4 - \text{сильная нагрузка;} \\ 0,7 & - \text{полная нагрузка.} \end{cases} \quad (12)$$

**Соединители** (колодки, разъемные соединения, панельки БИС):

$$K_{н.соед} = N_p / N_{доп}, \quad (13)$$

где  $N_p$  - число используемых контактов в соединителе.

На надежность остальных ЭРК (индуктивностей, трансформаторов и неразъемных соединений (сварка, пайка) электрический и температурный режим работы не оказывают заметного влияния, поэтому  $K_n$  для них не вычисляется, а принимается равным единице.

Значения поправочных коэффициентов и базовые интенсивности отказов различных электрорадиоэлементов представлены в прил. А.

## **2.2. Расчет надежности по внезапным отказам при основном соединении элементов**

Основное соединение ЭРЭ является наиболее распространенным в ФУ и означает последовательное (в схеме надежности) соединение ЭРЭ, когда при отказе любого из них цепь надежности обрывается, т.е. ФУ выходит из строя [2]. В схему надежности включаются не только элементы электрической принципиальной схемы, но и все элементы конструкции ФУ, обеспечивающие работоспособность: печатная плата, паяные соединения и т.д. В зависимости от

полноты учета факторов влияющих на работу изделия различают прикидочный, ориентировочный и окончательный виды расчета надежности.

Прикидочный расчет может осуществляться методом по усредненной интенсивности отказов и коэффициентным методом.

**Расчет по усредненной интенсивности отказов** применяется для оценки надежности изделия при сравнении нескольких вариантов функциональных схем изделия, а также для определения минимально допустимого уровня надежности элементов, который еще обеспечит заданную надежность. Расчет производится в следующем порядке:

- определяется по справочной и/или технической литературе ориентировочное число активных элементов  $N_a$ ;
- определяется среднее число пассивных элементов, приходящихся на один активный прибор  $N_p$ ;
- по справочным данным определяется среднее значение  $\bar{\lambda}$  интенсивностей отказов элементов;
- вычисляется общее число элементов  $N=N_a+N_p$  и усредненная интенсивность отказов изделия:

$$\lambda_c = \bar{\lambda}N = \bar{\lambda}(N_a \cdot N_p + N_a);$$

- определяется наработка на отказ системы  $T_0 = 1/\lambda_c$  и вероятность безотказной работы  $P_c(t) = e^{-\lambda_c t}$ .

Значения интенсивности отказов элементов представлены в прил. Г.

Рассмотренный метод прикидочного расчета позволяет оценить приближенно надежность РЭА в лабораторных условиях. В реальных условиях показатели надежности хуже, чем в лабораторных из-за наличия различных дестабилизирующих факторов. Для учета действия этих факторов применяют **коэффициентный метод**, заключающийся в введении поправочного коэффициента  $K_3$ , который показывает во сколько раз увеличивается интенсивность отказов отдельных элементов и систем в целом в реальных условиях по сравнению с лабораторными (приложение А).

Для определения ожидаемой средней интенсивности отказов элементов в аппаратуре, предназначенной для работы в определенных условиях, необходимо среднюю интенсивность отказов для лабораторных условий умножить на соответствующий поправочный коэффициент (см.прил. А1):

$$\lambda_{c,p} = \lambda_c K_3.$$

**Ориентировочный расчет** надежности можно выполнить по среднегрупповым интенсивностям отказов элементов.

Расчет надежности по среднегрупповым интенсивностям отказов элементов предполагает, что известны интенсивности отказов элементов различных типов  $\lambda_i$  и количество элементов  $N_i$  каждого типа, входящих в систему.

Данные о надежности типовых элементов обычно усредняются по времени и группам элементов и приводятся в виде таблиц значений интенсивностей отказов. Подобные таблицы опубликованы в целом ряде источников. Учитывая большой разброс данных, при ориентировочном расчете надежности аппаратуры выбирают средние табличные значения интенсивностей отказов элементов, либо рассчитывают максимальные и минимальные значения критериев надежности аппаратуры, используя экстремальные значения интенсивностей отказов элементов.

Приближенно количество элементов различных типов обычно бывает известно уже на этапе эскизного проектирования.

Сущность данного метода расчета надежности состоит в определении основных критериев, характеризующих безотказность аппаратуры: наработки на отказ  $T_0$  и вероятности безотказной работы  $P(t)$ .

Рекомендуется следующий порядок и последовательность расчета:

а) все элементы проектируемой системы разбиваются на несколько групп с примерно одинаковыми интенсивностями отказов внутри группы и подсчитывается ориентировочное количество элементов в каждой группе  $N_i$ ;

б) по таблицам находят значения интенсивностей отказов элементов каждой группы  $\lambda_i$  (среднее либо крайнее, если интересуют максимальные и минимальные значения критериев надежности аппаратуры);

в) вычисляются произведения  $N_i\lambda_i$ , характеризующие долю отказов, вносимых элементами данной группы в общую интенсивность отказов системы;

г) рассчитывается общая интенсивность отказов системы путем суммирования произведений  $N_i\lambda_i$  по всем  $k$  группам по формуле

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

д) определяется наработка на отказ из соотношения:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_c} ;$$

е) рассчитывается вероятность безотказной работы аппаратуры:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}.$$

**Окончательный расчет** надежности еще называют схемным, так как он производится по электрической принципиальной схеме. Производится этот расчет на этапе технического проектирования по опытному образцу изделия для известных условий эксплуатации, режимов работы всех элементов и конструктивного оформления.

Расчет производится по тем же формулам, что и ориентировочный расчет. Отличие состоит лишь в том, что интенсивности отказов элементов  $\lambda_{\text{Э}}$  берутся с учетом реальных условий, путем введения ряда поправочных коэффициентов:

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б}} K_{\text{р}} \prod_{i=1}^n K_i,$$

где  $\lambda_{\text{б}}$  – исходная (базовая) интенсивность отказов электрорадиоэлементов;

$K_{\text{р}}$  – коэффициент режима работы, зависящий от коэффициента нагрузки и/или температуры окружающей среды;

$K_i$  – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов;

$n$  – число учитываемых факторов.

Таким образом, чтобы рассчитать надежность, необходимо знать реальные режимы работы всех электрорадиоэлементов (ЭРЭ), которые позволяют определять коэффициенты режима работы  $K_{\text{р}}$ , зависящие от коэффициента электрической нагрузки  $K_{\text{н}}$

Интенсивность отказов ФУ в виде печатного узла, в том числе и при монтаже на поверхность рассчитывается по формуле

$$\lambda_{\text{ФУ}} = k_1 k_2 k_3 \sum_{j=1}^n \lambda_{j\text{Э}}, \quad (14)$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий суммарное воздействие вибраций и ударных нагрузок и определяется согласно прил. А1 (табл. А1.1);

$k_2$  – коэффициент, учитывающий воздействие температуры и влажности и определяется согласно табл. А1.2 прил. А1;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий атмосферное давление, определяется согласно табл. А1.3 прил. А1;

$\lambda_{j\text{Э}}$  – эксплуатационная интенсивность отказов ЭРЭ, учитывающая режимы работы и температуру окружающей среды, она определяется для каждого ЭРЭ

согласно формулам, приведенным в приложениях А2-А9, и может быть выражена формулой

$$\lambda_{jэ} = K_{\Sigma j} \cdot \lambda_{jб},$$

где  $\lambda_{jб}$  – базовая интенсивность отказов ЭРЭ;  $K_{\Sigma j}$  – произведение поправочных коэффициентов ЭРЭ, определяется согласно формулам приложения А2-А9.

Удобно все данные по определению  $\lambda_{jэ}$  оформить в виде таблицы.

Таблица 1

№ п/п	Наименование ЭРЭ	Количество ЭРЭ	$\lambda_{jб} \cdot 10^{-6}$ , 1/ч	$K_{\Sigma j}$	$\lambda_{jэ} \cdot 10^{-6}$ , 1/ч

По расчетной интенсивности отказов можно определить среднюю наработку на отказ

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{фУ}}}, \quad (15)$$

или вероятность безотказной работы

$$P = e^{-\lambda_{\text{фУ}} t}. \quad (16)$$

Если ФУ реализуется в виде МСБ или программируемой логической ИС (ПЛИС), то нужно пользоваться методикой, изложенной в [4]. Для сложных схем при расчете надежности можно использовать автоматизированные системы проектирования высоконадежных РЭС «АСОНИКА» [8, 10], либо программу расчета надежности (АСРН), разработанную на базе справочника по надежности ЭРЭ 22 ЦНИИ МО РФ [7].

### 2.3. Расчет надежности микросборок

В основу расчетов положены следующие предположения: имеют место только внезапные отказы; коэффициенты нагрузки элементов ИС равны единице; коэффициенты режима работы ИС являются функцией лишь положительной температуры окружающей среды, при которой проводимость ИС и мощность, рассеиваемая на ней, растут, т.е.  $a=f(T)$ .

При расчете интенсивности отказов БГИС и микросборок по изложенной выше методике учитываются возможности использования в них бескорпусных

транзисторов, диодов и ИС, пленочных резисторов и конденсаторов, а также навесных микроминиатюрных компонентов. Расчет корпусированных БГИС и МСБ ведется по формуле:

$$\lambda_{МСБ} = \left\{ \sum_{i=1}^k \lambda_{ИСi} + N_T a_T \lambda_T + N_D a_D \lambda_D + N_R a_R \lambda_R + N_C a_C \lambda_C + \sum_{i=1}^{N_H} \lambda_{Hi} + \left[ \sum_{i=1}^k N_{ИСi} + N_B + 3N_T + 2(N_D + N_R + N_C + N_H) \right] \lambda_{соед} \right\} K_1$$

Здесь  $k$  - количество бескорпусных ИС;

$N_D, N_R, N_C, N_H$  - число соответственно бескорпусных транзисторов и диодов, пленочных резисторов и конденсаторов, навесных пассивных компонентов;

$N_{ИС}$  - количество выводов ИС;

$a_T$  и  $a_D$  - коэффициенты режима работы соответственно транзисторных и диодных переходов;

$N_B$  - число внешних выводов;

$\lambda_T \lambda_D \lambda_{соед}$  - интенсивность отказов соответственно транзисторного перехода, диодного перехода и соединения;

$a_R$  и  $a_C$  - коэффициенты режима работы нормальных условий;

$K_1$  - коэффициент вибраций пленочных резисторов и конденсаторов;

$a_T$  и  $a_D$  - коэффициенты режима транзисторов и диодов;

$\lambda_{ИСi}$  - интенсивность отказов  $i$ -й полупроводниковой бескорпусной ИС;

$\lambda_{Hi}$  - интенсивность отказов навесного пассивного  $j$ -го элемента;

$\lambda_R$  и  $\lambda_C$  - интенсивность отказов пленочных резисторов и конденсаторов.

Рекомендуемые значения коэффициентов режима работы диодов, транзисторов, пленочных резисторов и конденсаторов в зависимости от температуры окружающей среды даны в табл.2.

Из таблицы видно, что пленочные конденсаторы обладают недостаточной надежностью, особенно при повышенных температурах, когда происходит интенсивная диффузия металла обкладок по порам диэлектрика, ведущая к коротким замыканиям.

$$\lambda_{соед} = \lambda R = 0.1 * 10^{-8} \text{ч}^{-1}$$

$$\lambda_C = 0.5 * 10^{-8} \text{ч}^{-1}$$

$$\lambda_T = 10^{-8} \text{ч}^{-1}$$

$$\lambda_D = 0.6 * 10^{-8} \text{ч}^{-1}$$

Коэффициент режима работы	Температура, °С						
	20	30	40	50	60	70	80
$a_{\Gamma}$	1,0	1,35	1,85	2,60	3,60	4,90	6,20
$a_{\Delta}$	1,0	1,27	1,68	2,00	2,60	3,40	4,10
$a_{\text{R}}$	1,0	1,15	1,40	1,95	2,80	3,50	4,40
$a_{\text{C}}$	1,0	1,26	1,71	2,20	3,35	5,70	12,40

### 3. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТИРУЕМОЙ РЭС

#### 3.1. Определение коэффициента оперативной готовности

Ремонтируемые системы восстанавливаются при отказах, после чего продолжают их дальнейшую эксплуатацию. Надежность ремонтируемых систем оценивается большей частью по характеристикам потока отказов, которые рассматривают как случайные события. В теории надежности ремонтируемых систем широко применяются простейшие потоки отказов, характеризующиеся ординарностью, стационарностью и отсутствием последствия [2].

Показателем надежности ремонтируемых систем является коэффициент оперативной готовности:

$$K_{\text{ог}} = K_{\Gamma} P(t), \quad (17)$$

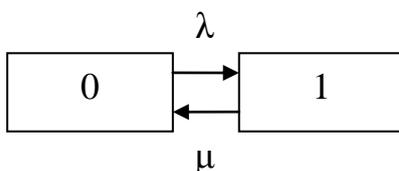
где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы по внезапным отказам за время  $t$ ;  $K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности, который определяется исходя из вида ремонтируемой системы. Для некоторых из них ниже приведены соотношения для его определения.

#### 3.2. Расчет коэффициентов готовности некоторых систем

##### 3.2.1. Нерезервированная ремонтируемая система

Имеется нерезервированная ремонтируемая РЭС, показатели надежности которой необходимо определить. Такая система в любой момент времени  $t$  может находиться только в одном из двух возможных состояний: работоспособном и неработоспособном. Первое обозначим условно индексом

0, неработоспособное состояние – 1. Интенсивность перехода из состояния 0 в 1 примем  $\lambda$ , а из состояния 1 в 0 –  $\mu$ . Графически схема состояний представлена на рис. 1.



**Рис. 1**

Коэффициент готовности системы определяется по выражению

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad (18)$$

где  $T_o$  – среднее время наработки на отказ ( $T_o = 1/\lambda$ );  $T_B$  - среднее время восстановления устройства.

Значение  $T_B$  определяется по следующей методике.

1. Согласно задания необходимо определить тип ремонтируемой аппаратуры и построить структурную схему состояний системы.
2. Определить среднее время восстановления системы по формуле

$$3. \quad T_B = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\tau_o + \tau_{Bi}) \lambda_i m_i,$$

где  $\tau_o$  – время ожидания ремонта, выбираемое из условий эксплуатации устройства и указывается преподавателем в задании;

$\tau_{Bi}$  – среднее время восстановления для  $i$ -го типа элементов (приложение А, табл. А10.1).

3. Рассчитанное  $T_B$  необходимо округлить до ближайшего большего значения согласно ряда: 1; 5; 10; 20; 40; 60 мин; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 18; 24; 36; 48; 96 ч ( $T_B = 1/\mu$ ).

### **3.2.2. Система с ненагруженным резервом**

Рассмотрим систему с ненагруженным резервом. Пусть РЭС состоит из одной основной и  $(m-1)$  резервной подсистем, причем все они обладают одинаковой надежностью. Такая система может пребывать в любом из  $m$

состояний: 0 – когда ее основная и резервная цепи работоспособны; когда  $j$  цепей неработоспособны ( $j=1,2,\dots\leq m-1$ ), но в целом система работает;  $m$  – когда все  $m$  цепей неработоспособны и наступает отказ. Обозначим эти состояния индексами  $0, j, m$  и составим схему состояний (рис.2).

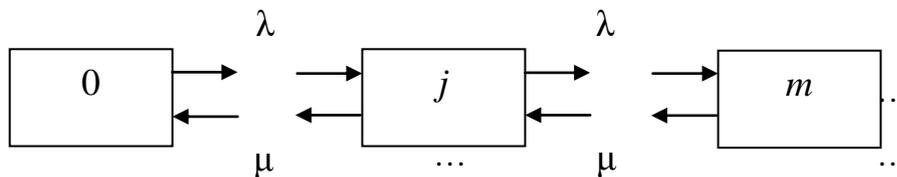


Рис. 2

Коэффициент готовности определяется выражением  $K_r = 1 - K_n$ , где  $K_n$  - коэффициент простоя системы с ненагруженным резервом

$$K_n = \frac{1}{\sum_{j=0}^m \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}. \quad (19)$$

### 3.2.3. Система с нагруженным резервом

Система с нагруженным резервом отличается от рассмотренной ранее тем, что все ее  $(m-1)$  резервных подсистем находятся в состоянии нагруженного резерва. Схема состояний такой системы при ограниченном восстановлении показана на рис. 3.

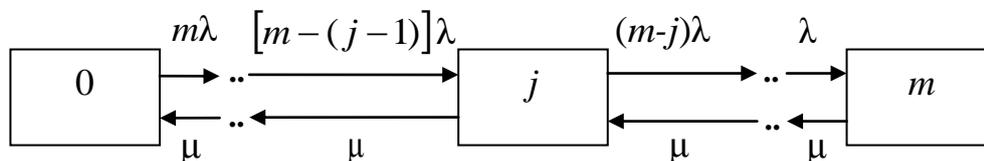


Рис. 3

Коэффициент готовности системы определяется выражением  $K_r = 1 - K_n$ , где  $K_n$  - коэффициент простоя системы с нагруженным резервом:

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{\sum_{j=0}^m \frac{1}{j!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}. \quad (20)$$

#### 4. ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ФУ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Повторяемость параметров ФУ оценивается количественно производственными погрешностями, а стабильность параметров при эксплуатации – погрешностями, связанными с изменением параметров ЭРЭ при воздействии температуры, влажности и времени.

Рекомендуется следующая схема оценки воспроизводимости и прогнозирования стабильности параметров ФУ при эксплуатации.

##### 4.1. Составление уравнения погрешностей

Составление модели для выходного параметра схемы (с учетом всех упрощений, изложенных в [1]) в виде выражения:

$$N = \varphi(q_1, q_2 \dots q_n), \quad (21)$$

где  $N$  - выходной параметр (это коэффициент усиления для усилителей, коэффициент передачи для фазовращателей, пороговый ток для схемы сравнения токов, длительность импульсов для генератора, амплитуда пилообразного напряжения для ГПН, частота выходного напряжения для генераторов и т.д.);  $q_1, q_2 \dots q_n$  - параметры схемных элементов.

Составление уравнения погрешностей и определение коэффициентов влияния.

Уравнение относительной погрешности:

$$\Delta N/N = \sum_{i=1}^n B_i \Delta q_i / q_i, \quad (22)$$

где  $B_i$  - коэффициент влияния для  $i$ -го параметра схемы на выходной параметр  $N$ , определяемый по формуле

$$B_i = (\delta N / \delta q_i \cdot q_i / N)_0. \quad (23)$$

Индекс "0" означает, что в формулу (23) подставляются номинальные значения  $N$  и  $q_i$ . После того как определены частные производные и вычислены значения  $B_i$ , уравнение относительной погрешности записывается в виде

$$\Delta N/N = B_1 \Delta q_1/q_1 + B_2 \Delta q_2/q_2 + \dots + B_n \Delta q_n/q_n.$$

## 4.2. Определение допуска на выходной параметр с гарантированной надежностью $P_{\text{ПАР}}$ и коэффициентом запаса $\xi$

Относительное отклонение выходного параметра  $\Delta N/N$  должно находиться в пределах эксплуатационного допуска, заданного в ТУ. Схема должна работать в течение  $\tau$  часов при колебаниях температуры от  $T_{\text{min}}$  до  $T_{\text{max}}$  и влажности  $H\%$  при  $t = T$  °С.

Расчет производственного допуска:

$$\Delta_{\text{пр}} = M(\Delta N/N)_{\text{пр}} \pm \delta(\Delta N/N)_{\text{пр}}, \quad (24)$$

где  $M(\Delta N/N)_{\text{пр}}$  - среднее значение относительной погрешности;  $\delta(\Delta N/N)_{\text{пр}}$  - половина поля допуска выходного параметра  $N$ .

Среднее значение относительной погрешности определяется по формуле

$$M(\Delta N/N)_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n B_i M(\Delta q_i/q_i), \quad (25)$$

где  $M(\Delta q_i/q_i)$  – среднее значение относительной погрешности для  $i$ -го ЭРЭ (справочные данные).

Половина поля допуска выходного параметра определяется по формуле

$$\delta(\Delta N/N)_{\text{пр}} = \gamma \left[ \sum_{i=1}^n B_i^2 \delta_i^2 + \sum_{i,j}^k 2 r_{ij} B_i B_j \delta_i \delta_j \right]^{1/2}, \quad (26)$$

где  $r_{ij}$  - коэффициент корреляции между  $i$ -м и  $j$ -м параметрами (в случае ФУ с дискретными ЭРЭ можно полагать  $r_{ij}=0$ );  $\gamma$ - коэффициент гарантированной надежности определения допуска находится из приложения А1 (табл. А1.4);  $\delta_i$ - половина поля допуска параметра  $i$ -го схемного элемента по ТУ (%) (определяется из справочников для выбранного типа элементов).

Для большинства схем  $r_{ij}=0$ , поэтому после подстановки (25), (26) в (24) получим:

$$\Delta_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n B_i M(\Delta q_i/q_i) \pm \gamma \left[ \sum_{i=1}^n B_i^2 \delta_i^2 \right]^{1/2}, \% .$$

### 4.3. Расчет допусков влажности

Параметры современных п/п приборов, конденсаторов и проволочных резисторов под воздействием влаги практически не изменяются и их считают независимыми от влажности воздуха, лишь параметры непроволочных резисторов (например типа МТЕ), подвержены этим изменениям. Расчет допусков на влажность сводится к определению коэффициентов увлажнения (КУ) выходного параметра по КУ непроволочных резисторов по вероятностному методу:

$$\Delta_{\text{вл}} = M(h) \pm \delta(h), \quad (27)$$

где  $M(h) = \sum_{i=1}^n B_i M(h_i)$  - среднее значение КУ выходного параметра;

$\delta(h) = \gamma \left[ \sum_{i=1}^n B_i^2 \delta^2(h_i) \right]^{1/2}$  - половина поля допуска КУ выходного параметра;

$h$  - КУ выходного параметра;  $h_i$  - КУ  $i$ -го параметра схемы.

**Пример 1.** Из ТУ на резисторы МТЕ-0,125 известно, что изменения сопротивления под воздействием влаги при  $T=(40 \pm 2)^\circ\text{C}$  не более  $\pm 3\%$ , т.е.  $M(h_i)=0$ ,  $\delta(h_i)=3\%$ . Найти  $\Delta_{\text{вл}}$ . Обычно изменение сопротивлений под воздействием влаги имеет нормальный симметричный закон распределения и  $M(h_i)=0$ , следовательно,

$$M(h)=0, \quad \Delta_{\text{вл}} = \pm \delta(h)=3\% .$$

### 4.4. Расчет температурных допусков

Учет температурных воздействий при расчете температурных допусков радиоизделий сводится к определению температурного коэффициента (ТК) выходного параметра схемы как функции ТК элементов, входящих в нее, и нахождению максимально возможной погрешности в заданном интервале температур.

1. Определение предельного значения ТК выходного параметра схемы:

$$\alpha_{\text{пред}} = M(\alpha) \pm \delta(\alpha), \quad (28)$$

причем

$$M(\alpha) = \sum_{i=1}^n B_i M(\alpha_{qio}); \quad \delta(\alpha) = \left[ \sum_{i=1}^n B_i^2 \delta^2(\alpha_{qio}) \right]^{1/2}; \quad (29)$$

где  $\alpha, \alpha_{qio}$  - ТК выходного и  $i$ -го параметра схемы;  $M(\alpha_{qio})$  - среднее значение ТК  $i$ -го параметра;  $\delta(\alpha_{qio})$  - половина поля допуска ТК  $i$ -го параметра.

**Пример 2.** Из ТУ на  $i$ -й элемент  $\alpha_{qio} = (35 \dots 47) 10^{-6}$  1/град =  $(35 \dots 47) 10^{-4}$  %/град. Определим ТК  $i$ -го элемента, для этого находим

$$M(\alpha_{qio}) = (\alpha_{qi \max} + \alpha_{qi \min}) / 2 = 0,41 \cdot 10^{-2} \text{ \%/град};$$

$$\delta(\alpha_{qio}) = (\alpha_{qi \max} - \alpha_{qi \min}) / 2 = 0,06 \cdot 10^{-2} \text{ \%/град}.$$

2. Определение температурного допуска:

$$\Delta_T = M[\Delta N/N]_{m\pm} \pm \delta[\Delta N/N]_{m\pm} = \alpha_{\text{пред}} \Delta t, \text{ \%}, \quad (30)$$

где  $\Delta t = [t - 20^\circ]$ ,  $^\circ\text{C}$  – относительный уход температуры.

Индекс  $(\pm)$  у  $T$  указывает, что  $M[\Delta N/N]$  и  $\delta[\Delta N/N]$  вычислены отдельно для  $\max$  и  $\min$  температуры. Далее, по предельным значениям температурных погрешностей на краях диапазона температур определяются максимально возможные значения температурных погрешностей, по которым и назначается величина температурного допуска.

#### 4.5. Расчет допусков старения

Данные по старению показывают, что изменения параметров схемных элементов являются случайными функциями времени, которые с достаточной точностью можно аппроксимировать линейными функциями. Это обстоятельство позволяет характеризовать их случайными величинами - коэффициентами старения (КС), представляющими собой тангенсы углов наклона линейных реализаций. Если распределение КС подчинено нормальному закону, то предельное значение КС выходного параметра схемы:

$$C_{\text{пред}} = M(C) \pm \delta(C), \quad (31)$$

где  $M(C) = \sum_{i=1}^n B_i M(C_{qi})$  - математическое ожидание КС параметра  $N$ ,

$$\delta(C) = \gamma \left[ \sum_{i=1}^n B_i^2 \delta^2(C_{qi}) \right]^{1/2} - \text{половина поля допуска КС параметра } N,$$

$M(C_{qi})$  и  $\delta(C_{qi})$  - математическое ожидание и половина поля допуска КС  $i$ -го параметра схемы. Обычно  $M(C_{qi}) = 0$ , тогда  $M(C) = 0$  и согласно (26)

$$C_{\text{пред}} = \pm \delta(C).$$

**Пример 3.** Для многих резисторов уход сопротивления от номинала за 10000 ч. составляет  $\pm 5\%$ , тогда

$$C_{Ri} = \pm 5\% / 10^4 = \pm 5 \cdot 10^{-4} \%/\text{ч}; \quad M(C_{Ri}) = 0; \quad \delta(C_{Ri}) = 5 \cdot 10^{-4} \%/\text{ч}.$$

Определение допуска старения по известному  $C_{\text{пред}}$  и заданному времени работы  $\tau$  проводится аналогично (25):

$$\Delta_{\text{ст}} = M(\Delta N/N)_{\text{ст}} \pm \delta(\Delta N/N)_{\text{ст}} = C_{\text{пред}} \tau, \% \quad (32)$$

#### 4.6. Расчет суммарного эксплуатационного допуска

Расчет эксплуатационных допусков сводится к определению их величины по известным составляющим: производственному допуску, допускам влажности, температурному и старения. Расчет ведется по формулам:

$$M[\Delta N/N]_{\Sigma \pm} = \sum_{i=1}^3 M_i[\Delta N/N]_{\pm} \pm M[\Delta N/N]_{T \pm}, \quad (33)$$

$$\delta[\Delta N/N]_{\Sigma \pm} = \left\{ \left\{ \sum_{i=1}^3 \delta_i^2[\Delta N/N] + \delta^2[\Delta N/N]_{T \pm} \right\} \right\}^{1/2}, \quad (34)$$

$$\Delta \Sigma = \xi \left\{ M[\Delta N/N]_{\Sigma +} + \delta[\Delta N/N]_{\Sigma +} \div M[\Delta N/N]_{\Sigma -} - \delta[\Delta N/N]_{\Sigma -} \right\}, \quad (35)$$

где  $\xi$  - коэффициент запаса ( $\xi = 1,05 \dots 1,20$ ), рекомендуется  $\xi = 1,1$ .

**Пример 4.** Определить суммарный эксплуатационный допуск,

если известно:

$$\Delta_{\text{ВЛ}} = 0,4 \pm 5,7\%; \quad \Delta_{\text{T}+} = -5 \pm 8,3\%; \quad \Delta_{\text{T}-} = 1,6 \pm 12,4\%; \quad \Delta_{\text{СТ}} = \pm 5\%; \\ \Delta_{\text{ИР}} = \pm 13\%.$$

По (30) находим смещение центра группирования в обе стороны:

$$M[\Delta N/N]_{\Sigma-} = M_{\text{ИР}} + M_{\text{T}-} + M_{\text{СТ}} + M_{\text{ВЛ}} = 0 + 1,6 + 0 + 0,4 = 2 \%, \\ M[\Delta N/N]_{\Sigma+} = M_{\text{ИР}} + M_{\text{T}+} + M_{\text{СТ}} + M_{\text{ВЛ}} = 0 - 5 + 0 + 0,4 = -4,6 \%.$$

По (31) половина поля допуска при максимальной отрицательной температуре  $T$ :

$$\delta[\Delta N/N]_{\Sigma-} = \sqrt{\delta_{\text{ИР}}^2 + \delta_{\text{T}-}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2 + \delta_{\text{ВЛ}}^2} = \sqrt{13^2 + 12,4^2 + 5^2 + 5,7^2} = 19,5 \%.$$

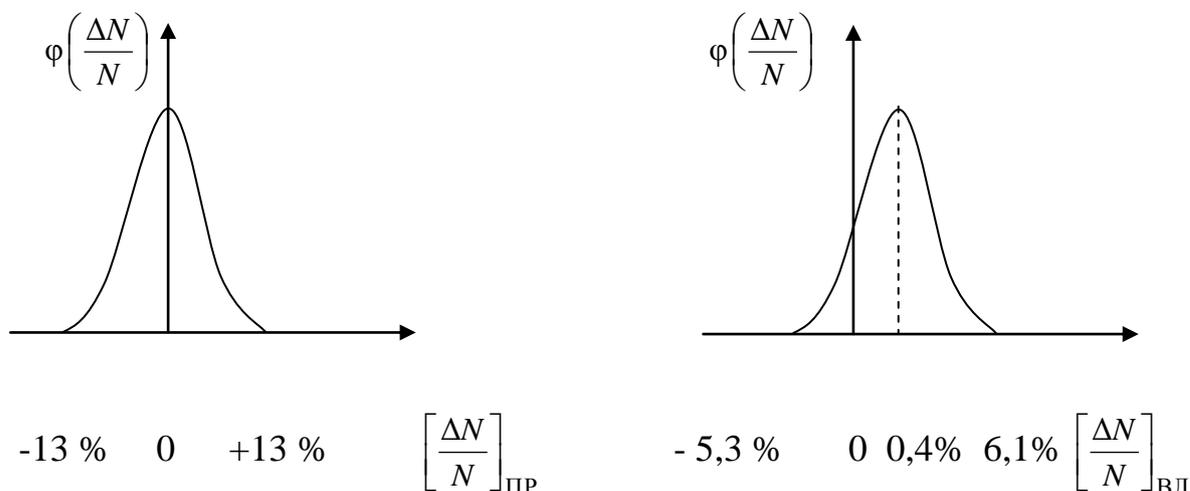
Аналогично вычисляется половина поля допуска при максимальной положительной температуре  $T+$ :

$$\delta[\Delta N/N]_{\Sigma+} = 17,2 \%.$$

Задаваясь коэффициентом запаса  $\xi=1,1$  согласно (32), имеем

$$\Delta\Sigma = 1,1[(-4,6 - 17,2)...(2 + 19,5)] = (-23,98...23,75)\%.$$

Построение частных законов распределения составляющих погрешностей и суммарного эксплуатационного поля допуска приведено на рис. 4 и рис. 5.



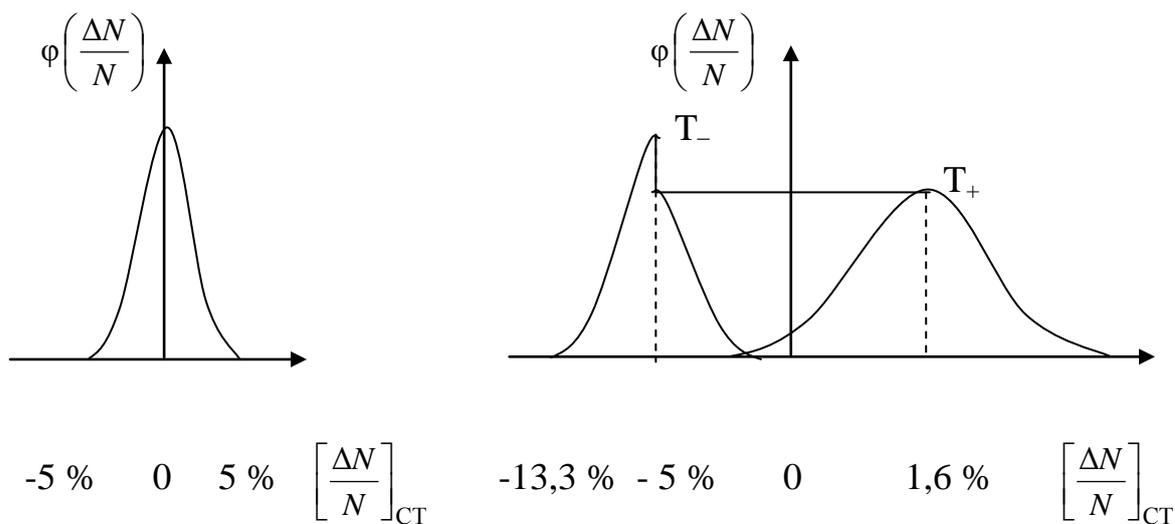


Рис. 4

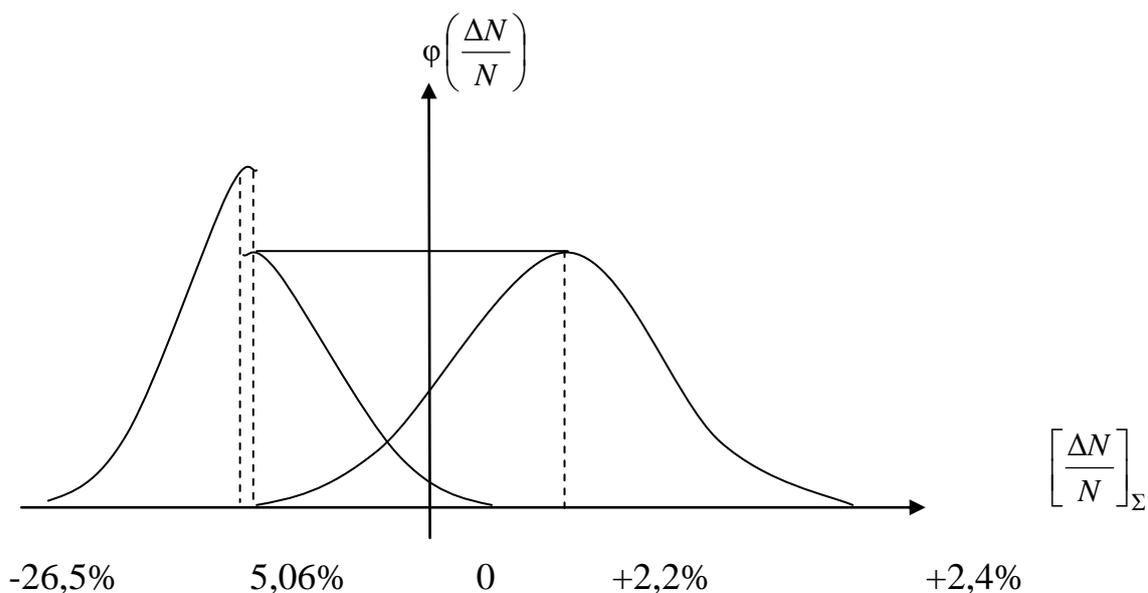


Рис. 5

## 5. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Результаты выполнения курсовой работы излагаются в виде пояснительной записки и чертежей, оформляемых по стандарту института СПЗ-У-НГТУ-2005. Напомним кратко основные требования стандарта.

## 5.1. Оформление расчетно-пояснительной записки

Материал расчетно-пояснительной записки рекомендуется располагать в следующем порядке:

- титульный лист;
- содержание;
- задание на курсовую работу;
- анализ задания и выбор метода решения;
- электрический расчет функционального узла и выбор ЭРЭ;
- расчет надежности функционального узла по внезапным отказам;
- оценка воспроизводимости параметров ФУ и прогнозирование их стабильности при эксплуатации;
- список используемых источников;
- приложения, содержащие распечатки файлов и расчетов на ПК.

Объем расчетно-пояснительной записки - (15..20) страниц машинописного текста. Если используется компьютерная верстка, то рекомендуется шрифт не менее 2,5 мм (12 ш через 1,5 интервал или 14 через 1 интервал).

Титульный лист оформляется согласно прил. Г. Обозначение курсовой работы имеет следующий вид:

КР-АПИД-11.03.03-(АСР18-1)-12-18,

где индекс КР - курсовая работа; АПИД - аббревиатура учебного заведения с указанием формы обучения (дневная, вечерняя, заочная); 11.03.03 – направление подготовки; АСР18-1- обозначение учебной группы; 12 - порядковый номер студента из списка учебной группы; 18 - последние две цифры года защиты проекта. Титульный и последний лист рекомендуется делать из ватмана.

При оформлении пояснительной записки и графической части КР необходимо руководствоваться требованиями по оформлению пояснительных записок к учебным проектам и курсовым работам и государственными стандартами: ЕСКД (единая система конструкторской документации), ЕСПД (единая система программной документации), единая система стандартов автоматизированной системы управления.

Текст пояснительной записки выполняют с применением ЭВМ в тестовом редакторе Microsoft Word шрифтом Times New Roman размером 12 pt через 1,5 интервала или 14 pt через 1 интервал. Рекомендуемое значение поля страницы:

левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее 20 мм, позиция табуляции 12,3 мм.

Текст пояснительной записки КР разделяют на разделы, подразделы и пункты. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами без точки, и начинаться с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Например: 2.1 – первый подраздел второго раздела.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Стиль оформления заголовков и подзаголовков должен быть одинаковым в пределах всего документа. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Содержание размещается на 4 странице, титульный лист, задание на КР не нумеруются.

В пояснительной записке должны применяться термины, обозначения и определения, установленные государственными стандартами. Если в пояснительной записке принята особая система сокращения слов или наименований, то в нем должен быть приведен перечень принятых сокращений, который помещают в структурном элементе «Определения, обозначения и сокращения».

При ссылках на структурную часть текста выполняемой КР указываются номера разделов (подразделов), графического материала, формул, таблиц, приложений, а также графы и строки таблицы данной КР. При ссылках следует писать: «... в соответствии с разделом 2», « ... в соответствии с рисунком 2», «в соответствии с таблицей 1», «в соответствии с приложением В» и т. п.

Цитаты воспроизводятся в тексте КР с соблюдением всех правил цитирования (соразмерная кратность цитаты, точность цитирования). Цитированная информация заключается в кавычки, указывается номер страницы источника, из которого приводится цитата.

Цифровые (графические) материалы, как правило, оформляется в виде таблиц и/или рисунков (графиков, диаграмм, иллюстраций) и имеют для каждого вида материала отдельную сквозную нумерацию, выполненную арабскими цифрами. Материалы в зависимости от их размера помещаются

после текста, в котором впервые дается ссылка на них, или на следующей странице. Указывают вид материала (таблица или рисунок), его порядковый номер и название. Например, «Рисунок 1. – Название», «Таблица 2. – Название». Надписи таблиц и рисунков выполняются строчными буквами, выравниваются по центру. Надпись рисунка указывается после рисунка, надпись таблицы – перед таблицей.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записываются на уровне формулы справа в круглых скобках. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, ... в формуле (1).

Ссылки в тексте на источники и литературу обязательны и оформляются в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008 (включая Интернет-источники). Список законодательных и иных нормативных правовых актов формируется по юридической силе в хронологическом порядке, список иных источников, в том числе научной и учебной литературы – в алфавитном. Нумерация сквозная от первого до последнего названия.

Приложение оформляют как продолжение пояснительной записки на последующих его листах. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Например, Приложение Б. Нумерация страниц пояснительной записки и приложений, входящих в ее состав, должна быть сквозная.

Список литературы оформляется согласно Системе стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу (ССИБИБД).

## **5.2. Оформление графического материала**

В графический материал входят: схема электрическая принципиальная с перечнем электрорадиоэлементов и расчетные зависимости, полученные в работе и представленные на рисунках и графиках.

Чертежи выполняются в электронном виде на одном листе ватмана по правилам, установленным единой системой конструкторской документации [6]. Для удобства защиты курсовой работы разрешается перечень электрорадиоэлементов размещать на схеме электрической принципиальной, располагая его непосредственно над основной надписью чертежа.

Основную надпись выполняют согласно ГОСТ 2.104-68, при этом в графе 2 обозначение изделия указывается в соответствии с ГОСТ 2.201-80. В графе 9 указывается наименование предприятия, выпустившего документ (АПИ НГТУ) и шифр учебной группы (АСР18-1).

### **5.3. Перечень элементов**

Данные об элементах и устройствах, изображенных на схеме изделия, записывают в перечень элементов. Допускается все сведения об элементах помещать рядом с их изображением на свободном поле схемы. Связь между условными графическими обозначениями и перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения.

Перечень помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа на листе формата А4 с основной надписью для текстовых документов по форме 2 или 2а ГОСТ 2.104-68. Перечень элементов оформляют в виде таблицы (рис. 6) и заполняют сверху вниз. В графах перечня указывают следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» – позиционное обозначение элемента, устройства или функциональной группы;

- в графе «Наименование» – наименование элемента (устройства) в соответствии с документом, на основании которого он применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия); для функциональной группы – наименование;

- в графе «Кол» – количество одинаковых элементов;

- в графе «Примечание» – технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание

**Рис. 6 Таблица для оформления перечня элементов**

При размещении перечня элементов на первом листе схемы его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

Если перечень элементов выпускают в виде самостоятельного документа, то ему присваивают код, который должен состоять из буквы «П» и кода схемы, например, ПЭЗ – код перечня элементов к электрической принципиальной схеме. При этом в основной надписи перечня под наименованием изделия, для которого составлен перечень, делают запись «Перечень элементов» шрифтом на один-два размера меньше того, каким записано наименование изделия, а в графе «Обозначение» основной надписи указывают код.

Перечень элементов записывают в спецификацию после схемы, к которой выпущен.

При разбивке поля схемы на зоны перечень элементов дополняют графой «Зона», указывая в ней обозначения зоны или номер строки (при строчном способе выполнения схем), в которой расположен элемент или устройство).

Допускается вводить в перечень дополнительные графы, если они не дублируют сведений в основных графах.

Порядок записи элементов в перечень следующий (рис. 7).

Поз.обозначение	Наименование	Кол	Примечание
L1	Катушка индуктивности АБВГ...	1	
	Резисторы		
R1	МЛТ-0,5-300 кОм +- 5% ГОСТ...	1	
R2	1СП-1-1-560 Ом +-20% А-В-С-3-12,5 ГОСТ...	1	
R3	ПЭВ-10-3 кОм +-5% ГОСТ...	1	
	МЛТ ГОСТ...	1	
	СП ГОСТ...		
R4	МЛТ-0,5-150 кОм +- 5% ГОСТ...	1	
R5	1СП-1-1-560 Ом +-20% А-В-С-3-12,5 ГОСТ...	1	
R6	МЛТ-0,5-150 кОм +- 10% ГОСТ...	1	
R7, R8	МЛТ-0,25-300 кОм +- 10% ГОСТ...	2	

**Рис. 7 Порядок записи элементов в перечень**

Элементы записывают по группам (видам) в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений, располагая по возрастанию порядковых номеров в пределах каждой группы, а при цифровых обозначениях – в порядке их возрастания. Между отдельными группами элементов или между элементами в большой группе рекомендуется оставлять несколько незаполненных строк для внесения изменений.

Для сокращения перечня допускается однотипные элементы с одинаковыми параметрами и последовательными порядковыми номерами записывать в перечень одной строкой, указывая только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например, С1, С2, R4 ... R6. В графе «Кол» указывают общее количество таких элементов. При записи однотипных элементов допускается не повторять в каждой строке наименование элемента, а записывать его в виде общего наименования к соответствующей группе элементов.

В общем наименовании записывают наименование, тип и обозначение документа, на основании которого применены эти элементы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.301-95. Расчет надежности. Основные положения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
2. Ямпурин, Н.П. Основы надежности электронных средств / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова; [под ред. Н.П. Ямпурин] - М.: Издательский центр Академия, 2010.-240с.
3. Фомин, О.В. Анализ электрической нагрузки элементов при оценке надежности интегральных радиоэлектронных средств / О.В. Фомин, О.Н. Умрихин. – МАИ. М., 1994.–32 с.
4. Фомин, О.В. Методы оценки и оптимизации конструкторско-технологических характеристик качества микроэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры / О.В. Фомин, О.Н. Умрихин. – МАИ. М., 1989.–68 с.
5. Аксенов, А.И. Отечественные полупроводниковые приборы: справочник / А.И. Аксенов, А.В. Нефедов. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 592 с.
6. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: справочное пособие / [под ред. Э.Т. Романычевой] – М.: Радио и связь, 1990.–448 с.
7. Надежность ЭРИ: Справочник. / С.Ф. Прытков [и др.] – М.: ЦНИИ МО РФ, 2002. – 574 с.
8. Кофанов, Ю.Н. Основы теории надежности и параметрической чувствительности РЭС: учеб. пособие / Ю.Н. Кофанов, В.В. Жаднов. – М.: РИО МИЭМ, 1990. – 80 с.
9. Шалумов, А.С. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ А.С. Шалумов [и др.]; [под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова] – М.: Энергоатомиздат, 2007.
10. Жаднов, В.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств / В.В. Жаднов, А.В. Сарафанов – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 464 с. (Серия «Библиотека инженера»).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

#### А1. Учет условий эксплуатации функционального узла

Коэффициент, учитывающий условия эксплуатации функционального узла определяется по формуле  $K_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ , где:

$K_1$  - коэффициент, учитывающий условия применения;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий влияние давления.

Значения составляющих коэффициентов представлены в табл. А1.1, А1.2, А1.3

Таблица А1.1

Условия применения аппаратуры	$K_1$
Лабораторные условия	1,0
Наземная РЭС	16
Корабельная РЭС	28
Автомобильная РЭС	36
Железнодорожная РЭС	50
Высокогорная РЭС	80
Гражданские самолеты	150
Истребители	300
Космические летательные аппараты	1000

Таблица А1.2

Влажность	Температура, °С	Коэффициент $K_2$
60...70%	20...40 <sup>0</sup> С	1,0
60...80%	50...60 <sup>0</sup> С	1,5
90...98%	20...25 <sup>0</sup> С	2,0
90...98%	30...40 <sup>0</sup> С	2,5

Таблица А1.3

Высота, км	0...1	1...2	2...3	3...5	5...6	6...8	8...10	10...15	15...20	20...25
$K_3$	1,0	1,05	1,1	1,14	1,16	1,2	1,25	1,3	1,35	1,38

Таблица А1.4

$P_{\text{пар}}$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
$\gamma$	0,374	0,383	0,427	0,48	0,548	0,653	0,683	0,725	0,775	0,857
$P_{\text{пар}}$	0,9973	0,999	0,9995	0,9999	0,99995	0,99999	0,999995	0,999999	0,9999999	0,99999999
$\gamma$	1	1,1	1,167	1,3	1,33	1,47	1,63			

## А2. Эксплуатационные интенсивности отказов интегральных схем

Эксплуатационные интенсивности отказов интегральных схем рассчитывается по формуле:

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_{\text{с.т}} \cdot K_{\text{корп}} \cdot K_v \cdot K_3,$$

где  $K_{\text{с.т}}$  - коэффициент режима (зависит от сложности интегральных схем и температуры окружающей среды);

$K_{\text{корп}}$  - коэффициент, учитывающий зависимость  $\lambda_3$  от корпуса интегральных схем ( $K_{\text{корп}}=3$  для пластмассовых корпусов и  $K_{\text{корп}}=1$  - для всех остальных);

$K_v$  - коэффициент, учитывающий зависимость  $\lambda_3$  от максимальных значений напряжения питания;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. Приложение А1);

$\lambda_6$  - базовая интенсивность отказов интегральных схем, справочные данные по  $\lambda_6$  для отдельных групп интегральных схем приведены в табл. А2.1.

Таблица А2.1

Группа интегральных схем	$\lambda_6 \cdot 10^6, 1/\text{ч}$
Микросхемы интегральные полупроводниковые цифровые	0,019
Оперативные запоминающие устройства	0,046
Постоянные запоминающие устройства	0,025
Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые	0,037
Микросхемы интегральные гибридные	0,044

Значения коэффициента  $K_v$  в зависимости от максимальных значений напряжения питания представлены в таблице А2.2.

Таблица А2.2

Технология	$K_v$ для напряжения источника питания, В		
	до 10	>10 до 12,6	>12,6 до 15
КМОП	1,0	3,0	10,0
Прочие виды технологии	1,0		

Значения коэффициента режима  $K_{с.т}$  в зависимости от сложности интегральных схем и температуры окружающей среды представлены в табл. А2.3.

Таблица А2.3

Количество элементов, (бит-для ЗУ) в интегральной микросхеме		K <sub>с.г</sub> при температуре окружающей среды, °С																			
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	115	120	125
<b>Микросхемы интегральные полупроводниковые цифровые</b>																					
до 10 элементов	0,6	0,67	0,74	0,82	0,91	1,01	1,12	1,24	1,38	1,53	1,7	1,88	2,09	2,32	2,57	2,85	3,17	3,51	3,9	4,33	4,8
>10-100	0,8	0,89	0,99	1,09	1,21	1,35	1,49	1,66	1,84	2,04	2,26	2,51	2,79	3,09	3,43	3,81	4,22	4,69	5,2	5,77	6,4
>100-1000	1,0	1,11	1,23	1,37	1,52	1,68	1,87	2,07	2,3	2,55	2,83	3,14	3,48	3,87	4,29	4,76	5,28	5,86	6,5	7,21	8,0
>1000-5000	1,8	2,0	2,22	2,46	2,73	3,03	3,36	3,73	4,14	4,59	5,09	5,65	6,27	6,96	7,72	8,56	9,5	10,54	11,7	12,98	14,4
>5000-10000	4,0	4,44	4,93	5,47	6,07	6,73	7,47	8,29	9,19	10,2	11,32	12,56	13,93	15,46	17,15	19,03	21,12	23,43	26	28,85	32,01
>10000-50000	4,9	5,44	6,04	6,7	7,43	8,24	9,15	10,15	11,26	12,5	13,86	15,38	17,07	18,94	21,01	23,32	25,87	28,7	31,85	35,34	39,21
>50000-100000	8,0	8,88	9,85	10,93	12,13	13,46	14,94	16,57	18,39	20,4	22,64	25,12	27,87	30,92	34,31	38,07	42,24	46,86	52	57,69	64,01
>100000-250000	9,01	9,99	11,09	12,3	13,65	15,14	16,8	18,64	20,69	22,95	25,47	28,26	31,35	34,79	38,6	42,82	47,51	52,72	58,49	64,9	72,01
<b>Оперативные запоминающие устройства</b>																					
до 64 бит	0,5	0,56	0,62	0,68	0,76	0,84	0,93	1,04	1,15	1,28	1,41	1,57	1,74	1,93	2,14	2,38	2,64	2,93	3,25	3,61	4,0
>64-1024	1,0	1,11	1,23	1,37	1,52	1,68	1,87	2,07	2,3	2,55	2,83	3,14	3,48	3,87	4,29	4,76	5,28	5,86	6,5	7,21	8,0
>1024-4096	1,4	1,55	1,72	1,91	2,12	2,36	2,61	2,9	3,22	3,57	3,96	4,4	4,88	5,41	6,0	6,66	7,39	8,2	9,1	10,1	11,2
>4096-16384	1,7	1,89	2,09	2,32	2,58	2,86	3,17	3,52	3,91	4,34	4,81	5,34	5,92	6,57	7,29	8,09	8,97	9,96	11,05	12,26	13,6
>16384-65536	2,5	2,78	3,08	3,42	3,79	4,21	4,67	5,18	5,75	6,38	7,07	7,85	8,71	9,66	10,72	11,9	13,2	14,64	16,25	18,03	20
>65536-262144	3,19	3,54	3,93	4,35	4,83	5,36	5,95	6,6	7,32	8,13	9,02	10	11,1	12,31	13,66	15,16	16,82	18,66	20,71	22,98	25,49
>262144бит-4М	3,68	4,08	4,53	5,02	5,58	6,19	6,86	7,62	8,45	9,38	10,4	11,54	12,81	14,21	15,77	17,49	19,41	21,54	23,89	26,51	29,42

Количество элементов, (бит-для 3У) в интегральной микросхеме	K <sub>с.г</sub> при температуре окружающей среды, °С																				
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	115	120	125	
<b>Постоянные запоминающие устройства и программируемые постоянные запоминающие устройства</b>																					
до 4096 бит	1,0	1,11	1,23	1,37	1,52	1,68	1,87	2,07	2,3	2,55	2,83	3,14	3,48	3,87	4,29	4,76	5,28	5,86	6,5	7,21	8,0
>4096-16384	2,5	2,78	3,08	3,42	3,79	4,21	4,67	5,18	5,75	6,38	7,07	7,85	8,71	9,66	10,72	11,9	13,2	14,64	16,25	18,03	20
>16384-65536	3,5	3,89	4,31	4,78	5,31	5,89	6,53	7,25	8,04	8,93	9,9	10,99	12,19	13,53	15,01	16,65	18,48	20,5	22,75	25,24	28
>65536-262144	4,12	4,57	5,07	5,63	6,24	6,93	7,69	8,53	9,46	10,5	11,65	12,93	14,34	15,91	17,66	19,59	21,74	24,12	26,76	29,69	32,95
>262144бит-4М	4,68	5,19	5,76	6,39	7,09	7,87	8,73	9,69	10,75	11,93	13,23	14,68	16,29	18,07	20,05	22,25	24,69	27,39	30,39	33,72	37,42
<b>Перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства</b>																					
до 4096 бит	1,2	1,33	1,48	1,64	1,82	2,02	2,24	2,49	2,76	3,06	3,4	3,77	4,18	4,64	5,15	5,71	6,34	7,03	7,8	8,65	9,6
>4096-16384	3,0	3,33	3,7	4,1	4,55	5,05	5,6	6,21	6,9	7,65	8,49	9,42	10,45	11,6	12,87	14,27	15,84	17,57	19,5	21,63	24
>16384-65536	4,0	4,44	4,93	5,47	6,07	6,73	7,47	8,29	9,19	10,2	11,32	12,56	13,93	15,46	17,15	19,03	21,12	23,43	26	28,85	32,01
<b>Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые</b>																					
до 10 элементов	0,6	0,68	0,76	0,85	0,95	1,07	1,2	1,35	1,51	1,7	1,9	2,14	2,4	2,69	3,02	3,38	3,8	4,26	4,78	5,36	6,01
МО-100	1,0	1,13	1,26	1,42	1,59	1,79	2,0	2,25	2,52	2,83	3,17	3,56	3,99	4,48	5,03	5,64	6,33	7,1	7,96	8,93	10,02
И100-500	1,41	1,58	1,77	1,99	2,23	2,5	2,8	3,15	3,53	3,96	4,44	4,98	5,59	6,27	7,04	7,89	8,86	9,93	11,14	12,5	14,03
>500-1000	2,01	2,25	2,53	2,84	3,18	3,57	4,01	4,49	5,04	5,66	6,34	7,12	7,99	8,96	10,05	11,28	12,65	14,19	15,92	17,86	20,04
>1000-5000	3,01	3,38	3,79	4,26	4,77	5,36	6,01	6,74	7,56	8,48	9,52	10,68	11,98	13,44	15,08	16,91	18,98	21,29	23,88	26,79	30,06
>5000-20000	4,02	4,51	5,06	5,67	6,36	7,14	8,01	8,99	10,08	11,31	12,69	14,24	15,97	17,92	20,1	22,55	25,3	28,38	31,84	35,72	40,08
<b>Микросхемы интегральные гибридные</b>																					
до 25 компонентов	0,9	1,01	1,14	1,29	1,45	1,64	1,84	2,08	2,34	2,64	2,97	3,35	3,78	4,26	4,8	5,4	6,09	6,86	7,73	8,71	9,82
>25-50	1,0	1,13	1,27	1,43	1,61	1,82	2,05	2,31	2,6	2,93	3,3	3,72	4,2	4,73	5,33	6,0	6,77	7,62	8,59	9,68	10,91
>50-100	1,2	1,35	1,52	1,72	1,94	2,18	2,46	2,77	3,12	3,52	3,97	4,47	5,04	5,67	6,39	7,21	8,12	9,15	10,31	11,62	13,09
>100-500	1,35	1,52	1,72	1,93	2,18	2,46	2,77	3,12	3,51	3,96	4,46	5,03	5,67	6,39	7,2	8,11	9,14	10,3	11,6	13,08	14,74
>500	1,5	1,69	1,91	2,15	2,42	2,73	3,07	3,46	3,9	4,4	4,96	5,59	6,29	7,09	7,99	9,01	10,15	11,44	12,89	14,52	16,37

### А3. Эксплуатационные интенсивности отказов отдельных групп полупроводниковых приборов

Интенсивности отказов отдельных групп полупроводниковых приборов рассчитываются по формулам, которые представлены в табл.А3.1.

Таблица А3.1

Группа полупроводниковых приборов	Расчетные формулы
Диоды выпрямительные, импульсные, варикапы; диодные сборки	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{с1}} \cdot K_{\text{э}}$
Стабилитроны, генераторы шума, ограничители напряжения	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{э}}$
Диоды СВЧ	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{э}}$
Транзисторы биполярные, транзисторные сборки	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{с1}} \cdot K_{\text{э}}$
Транзисторы биполярные мощные СВЧ	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{Т}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{э}}$
Транзисторы полевые	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{э}}$
Тиристоры	$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{э}}$

$K_{\text{р}}$  - коэффициент режима работы (зависит от температуры);

$K_{\text{ф}}$  - коэффициент, учитывающий зависимость  $\lambda_{\text{э}}$  от функционального назначения;

$K_{\text{с1}}$  - коэффициент, учитывающий величину рабочего напряжения относительно максимально допустимого;

$K_{\text{Т}}$  - коэффициент, учитывающий зависимость  $\lambda_{\text{э}}$  от нагрузки по напряжению и рабочей температуры перехода (для транзисторов биполярных мощных СВЧ);

$K_{\text{ф}}$  - коэффициент, учитывающий рабочую частоту и мощность рассеяния;

$K_{\text{э}}$  - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. прил. А1).

Значения базовой интенсивности отказов ( $\lambda_{\text{б}}$ ) отдельных групп полупроводниковых приборов представлены в табл. А3.2.

Таблица А3.2

Группа полупроводниковых приборов		$\lambda_6 \cdot 10^6$ , 1/ч	
Приборы полупроводниковые, НЧ и ВЧ диапазонов			
<i>Диоды кремниевые:</i>	диоды выпрямительные	0,1	
	диоды импульсные	0,034 I	
	столбы выпрямительные	0,19	
	варикапы подстроенные	0,024	
	диодные сборки	0,009	
<i>Стабилитроны</i>		0,004	
<i>Ограничители напряжения</i>		0,004	
<i>Генераторы шума,</i>		0,09	
<i>Транзисторы биполярные кремниевые</i>		0,06	
<i>Транзисторные сборки кремниевые</i>		0,2	
<i>Транзисторы полевые:</i>	кремниевые	0,086	
	арсенидогаллиевые	0,9	
<i>Тиристоры кремниевые</i>		0,19	
Приборы полупроводниковые СВЧ диапазона			
<i>Диоды СВЧ:</i>	смесительные:	кремниевые	0,075
		арсенидогаллиевые	0,88
	детекторные:	кремниевые	0,51
		арсенидогаллиевые	0,6
	параметрические арсенидогаллиевые		0,26
	переключательные и ограничительные:	кремниевые	0,22
		арсенидогаллиевые	0,43
	умножительные и настроенные:	кремниевые	1,9
		арсенидогаллиевые	0,8
	генераторные:	кремниевые	0,14
арсенидогаллиевые		0,14	
<i>Транзисторы СВЧ биполярные кремниевые:</i>	малой и средней мощности	0,081	
	большой мощности	0,21	
<i>Транзисторные сборки СВЧ</i>		0,025	

Значения коэффициента  $K_p$  для кремниевых диодов, диодных сборок представлены в табл. А3.3.

Таблица А3.3

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I_{\text{раб}} / I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,0477	0,0654	0,0873	0,1146	0,1486	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143
30	0,0532	0,0722	0,0958	0,1250	0,1620	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-
35	0,0590	0,0795	0,1048	0,1364	0,1767	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-
40	0,0654	0,0873	0,1146	0,1486	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-
45	0,0722	0,0958	0,1250	0,1620	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-	-
50	0,0795	0,1048	0,1364	0,1767	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-	-
55	0,0873	0,1146	0,1486	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-	-
60	0,0958	0,1250	0,1620	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-	-	-
65	0,1048	0,1364	0,1767	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-	-	-
70	0,1146	0,1486	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-	-	-
75	0,1250	0,162	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-	-	-	-
80	0,1364	0,1767	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-	-	-	-
85	0,1486	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-	-	-	-
90	0,1620	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-	-	-	-	-
95	0,1767	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-	-	-	-	-
100	0,1930	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-	-	-	-	-
105	0,2111	0,2829	0,4042	0,6543	-	-	-	-	-	-
110	0,2317	0,3156	0,4662	0,8027	-	-	-	-	-	-
115	0,2553	0,3552	0,5467	1,0143	-	-	-	-	-	-
120	0,2829	0,4042	0,6543	-	-	-	-	-	-	-
125	0,3156	0,4662	0,8027	-	-	-	-	-	-	-
130	0,3552	0,5467	1,0143	-	-	-	-	-	-	-
135	0,4042	0,6543	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,4662	0,8027	-	-	-	-	-	-	-	-
145	0,5467	1,0143	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,6543	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,8027	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	1,0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_p$  для кремниевых стабилитронов, ограничителей напряжения, генераторов шума представлены в табл. А3.4.

Таблица А3.4

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P_{\text{раб}} / P_{\text{макс}} (I_{\text{раб}} / I_{\text{макс}})$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,1714	0,1938	0,2180	0,2452	0,2774	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998
30	0,1787	0,2017	0,2267	0,2552	0,2899	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-
35	0,1862	0,2097	0,2357	0,2659	0,3037	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-
40	0,1938	0,2180	0,2452	0,2774	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-
45	0,2017	0,2267	0,2552	0,2899	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-	-
50	0,2097	0,2357	0,2659	0,3037	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-	-
55	0,2180	0,2452	0,2774	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-	-
60	0,2267	0,2552	0,2899	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-	-	-
65	0,2357	0,2659	0,3037	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-	-	-
70	0,2452	0,2774	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-	-	-
75	0,2552	0,2899	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-	-	-	-
80	0,2659	0,3037	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-	-	-	-
85	0,2774	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-	-	-	-
90	0,2899	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-	-	-	-	-
95	0,3037	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-	-	-	-	-
100	0,3189	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-	-	-	-	-
105	0,3361	0,4044	0,5178	0,7320	-	-	-	-	-	-
110	0,3557	0,4355	0,5735	0,8472	-	-	-	-	-	-
115	0,3782	0,4726	0,6432	0,9998	-	-	-	-	-	-
120	0,4044	0,5178	0,7320	-	-	-	-	-	-	-
125	0,4355	0,5735	0,8472	-	-	-	-	-	-	-
130	0,4726	0,6432	0,9998	-	-	-	-	-	-	-
135	0,5178	0,7320	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,5735	0,8472	-	-	-	-	-	-	-	-
145	0,6432	0,9998	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,7320	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,8472	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	0,9998	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_p$  для кремниевых биполярных транзисторов, транзисторных сборок; диодов СВЧ представлены в табл. А3.5.

Таблица А3.5

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P_{\text{раб}} / P_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,1279	0,1525	0,1801	0,2119	0,2499	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564
30	0,1358	0,1614	0,1902	0,2237	0,2646	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-
35	0,1440	0,1705	0,2007	0,2363	0,2807	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-
40	0,1525	0,1801	0,2119	0,2499	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-
45	0,1614	0,1902	0,2237	0,2646	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-	-
50	0,1705	0,2007	0,2363	0,2807	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-	-
55	0,1801	0,2119	0,2499	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-	-
60	0,1902	0,2237	0,2646	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-	-	-
65	0,2007	0,2363	0,2807	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-	-	-
70	0,2119	0,2499	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-	-	-
75	0,2237	0,2646	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-	-	-	-
80	0,2363	0,2807	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-	-	-	-
85	0,2499	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-	-	-	-
90	0,2646	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-	-	-	-	-
95	0,2807	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-	-	-	-	-
100	0,2986	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-	-	-	-	-
105	0,3185	0,3968	0,5243	0,7619	-	-	-	-	-	-
110	0,3411	0,4319	0,5864	0,8888	-	-	-	-	-	-
115	0,3669	0,4738	0,6637	1,0564	-	-	-	-	-	-
120	0,3968	0,5243	0,7619	-	-	-	-	-	-	-
125	0,4319	0,5864	0,8888	-	-	-	-	-	-	-
130	0,4738	0,6637	1,0564	-	-	-	-	-	-	-
135	0,5243	0,7619	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,5864	0,8888	-	-	-	-	-	-	-	-
145	0,6637	1,0564	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,7619	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,8888	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	1,0564	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_p$  для кремниевых смесительных и детекторных диодов СВЧ представлены в табл. А3.6.

Таблица А3.6

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P_{\text{раб}} / P_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,2692	0,2847	0,3016	0,3211	0,3459	0,3802	0,4324	0,5196	0,6806	1,0174
30	0,2753	0,2912	0,3090	0,3302	0,3581	0,3983	0,4617	0,5716	0,7842	-
35	0,2816	0,2980	0,3169	0,3404	0,3722	0,4199	0,4980	0,6391	0,9263	-
40	0,2880	0,3052	0,3256	0,3518	0,3888	0,4463	0,5440	0,7285	-	-
45	0,2946	0,3129	0,3351	0,3649	0,4086	0,4788	0,6031	0,8494	-	-
50	0,3016	0,3211	0,3459	0,3802	0,4324	0,5196	0,6806	1,0174	-	-
55	0,3090	0,3302	0,3581	0,3983	0,4617	0,5716	0,7842	-	-	-
60	0,3169	0,3404	0,3722	0,4199	0,4980	0,6391	0,9263	-	-	-
65	0,3256	0,3518	0,3888	0,4463	0,5440	0,7285	-	-	-	-
70	0,3351	0,3649	0,4086	0,4788	0,6031	0,8494	-	-	-	-
75	0,3459	0,3802	0,4324	0,5196	0,6806	1,0174	-	-	-	-
80	0,3581	0,3983	0,4617	0,5716	0,7842	-	-	-	-	-
85	0,3722	0,4199	0,4980	0,6391	0,9263	-	-	-	-	-
90	0,3888	0,4463	0,5440	0,7285	-	-	-	-	-	-
95	0,4086	0,4788	0,6031	0,8494	-	-	-	-	-	-
100	0,4324	0,5196	0,6806	1,0174	-	-	-	-	-	-
105	0,4617	0,5716	0,7842	-	-	-	-	-	-	-
110	0,4980	0,6391	0,9263	-	-	-	-	-	-	-
115	0,5440	0,7285	-	-	-	-	-	-	-	-
120	0,6031	0,8494	-	-	-	-	-	-	-	-
125	0,6806	1,0174	-	-	-	-	-	-	-	-
130	0,7842	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	0,9263	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_p$  для кремниевых тиристоров представлены в табл. А3.7.

Таблица А3.7

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P_{\text{раб}} / P_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,0551	0,0757	0,1021	0,1364	0,1817	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433
30	0,0614	0,0837	0,1126	0,1501	0,2000	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-
35	0,0682	0,0926	0,1240	0,1651	0,2204	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-
40	0,0757	0,1021	0,1364	0,1817	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-
45	0,0837	0,1126	0,1501	0,2000	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-	-
50	0,0926	0,1240	0,1651	0,2204	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-	-
55	0,1021	0,1364	0,1817	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-	-
60	0,1126	0,1501	0,2000	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-	-	-
65	0,1240	0,1651	0,2204	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-	-	-
70	0,1364	0,1817	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-	-	-
75	0,1501	0,2000	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-	-	-	-
80	0,1651	0,2204	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-	-	-	-
85	0,1817	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-	-	-	-
90	0,2000	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-	-	-	-	-
95	0,2204	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-	-	-	-	-
100	0,2432	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-	-	-	-	-
105	0,2688	0,3683	0,5211	0,7734	-	-	-	-	-	-
110	0,2978	0,4117	0,5907	0,8946	-	-	-	-	-	-
115	0,3307	0,4621	0,6737	1,0433	-	-	-	-	-	-
120	0,3683	0,5211	0,7734	-	-	-	-	-	-	-
125	0,4117	0,5907	0,8946	-	-	-	-	-	-	-
130	0,4621	0,6737	1,0433	-	-	-	-	-	-	-
135	0,5211	0,7734	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,5907	0,8946	-	-	-	-	-	-	-	-
145	0,6737	1,0433	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,7734	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,8946	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	1,0433	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_p$  для арсенидогаллиевых полупроводниковых приборов представлены в табл. А3.8.

Таблица А3.8

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P_{\text{раб}} / P_{\text{макс}} (I_{\text{раб}} / I_{\text{макс}})$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,038	0,060	0,092	0,138	0,202	0,289	0,405	0,559	0,758	1,0
30	0,048	0,075	0,113	0,168	0,242	0,343	0,478	0,653	0,879	-
35	0,060	0,093	0,139	0,202	0,290	0,407	0,561	0,761	1,0	-
40	0,075	0,114	0,168	0,243	0,345	0,479	0,655	0,882	-	-
45	0,093	0,139	0,203	0,291	0,408	0,563	0,763	1,0	-	-
50	0,114	0,169	0,244	0,346	0,481	0,657	0,885	-	-	-
55	0,140	0,204	0,292	0,409	0,564	0,765	1,0	-	-	-
60	0,170	0,245	0,347	0,482	0,659	0,887	-	-	-	-
65	0,205	0,293	0,411	0,566	0,767	1,0	-	-	-	-
70	0,246	0,348	0,484	0,661	0,890	-	-	-	-	-
75	0,294	0,412	0,568	0,770	1,0	-	-	-	-	-
80	0,349	0,486	0,663	0,892	-	-	-	-	-	-
85	0,413	0,570	0,772	1,0	-	-	-	-	-	-
90	0,487	0,666	0,895	-	-	-	-	-	-	-
95	0,571	0,774	1,0	-	-	-	-	-	-	-
100	0,668	0,898	-	-	-	-	-	-	-	-
105	0,777	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
110	0,900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Значения коэффициента  $K_T$  в зависимости от нагрузки по напряжению и рабочей температуры перехода для мощных биполярных СВЧ транзисторов представлены в табл. А3.9.

Таблица А3.9

$t, ^\circ\text{C}$	Металлизация алюминием						Металлизация золотом					
	$K_T$ при $U_{\text{раб}} / U_{\text{макс}}$											
	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
100	0,38	0,76	1,14	1,52	1,89	2,27	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
110	0,57	1,13	1,70	2,27	2,84	3,40	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,84
120	0,83	1,66	2,50	3,33	4,16	4,99	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9	1,08
125	1,00	2,00	3,00	4,00	5,01	6,01	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	1,20
130	1,20	2,40	3,60	4,79	5,99	7,19	0,22	0,44	0,66	0,88	1,1	1,32
140	1,69	3,39	5,08	6,78	8,47	10,17	0,26	0,52	0,78	1,04	1,3	1,56
150	2,36	4,72	7,07	9,43	11,79	14,15	0,30	0,60	0,90	1,20	1,5	1,80
160	3,23	6,46	9,69	12,93	16,16	19,39	0,34	0,68	1,02	1,36	1,7	2,04

Окончание табл. А3.9

170	4,37	8,73	13,10	17,46	21,83	26,19	0,38	0,76	1,14	1,52	1,9	2,28
180	5,82	11,64	17,46	23,28	29,10	34,92	0,42	0,84	1,26	1,68	2,1	2,52
190	7,66	15,33	22,99	30,65	38,32	45,98	0,46	0,92	1,38	1,84	2,3	2,76
200	9,97	19,95	29,92	39,89	49,86	59,84	0,5	0,1	1,5	2,0	2,5	3,0

Значения коэффициента  $K_{\phi}$  в зависимости от функционального назначения прибора представлены в табл. А3.10.

Таблица А3.10

Группа изделий	Функциональный режим работы	$K_{\phi}$
Диоды, кроме стабилитронов, диодные сборки	Аналогового сигнала	1,0
	Переключающий	0,6 1,5
	Выпрямительный	
Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки	Аналогового сигнала	1,5
	Переключающий	0,7 0,7
	Генераторный	15,0 1,5
	Малошумящие приборы	
Транзисторы биполярные мощные СВЧ	Импульсные усилители:	
	скважность < 3	1,0
	$3 \leq$ скважность $\leq 20$	0,5
	скважность $\leq 20$	0,25
	Усилители в непрерывном режиме	1,0
Генераторы	1,0	
Транзисторы полевые	Кремниевые:	
	аналогового сигнала	1,5
	переключающий	0,7
	генераторный	1,0
	СВЧ-диапазона	5,0
	Арсенидогаллиевые:	
	малошумящие приборы	10,0
все остальные типы приборов	7,5	

Значения коэффициента  $K_{s1}$  в зависимости от величины рабочего напряжения относительно максимально допустимого по ТУ представлены в табл. А3.11.

$$1) s_1 = \frac{U_{\text{обр.раб}}}{U_{\text{обр.макс}}} \cdot 100\%$$

$$2) s_1 = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{макс}}} \cdot 100\%$$

где  $U_{обр.раб}$  - постоянное обратное рабочее напряжение;  $U_{раб}$  - рабочее напряжение;  $U_{обр.мах}$  - максимально допустимое по ТУ постоянное обратное напряжение;  $U_{мах}$  - максимально допустимое по ТУ напряжение.

Значения коэффициента  $K_f$  в зависимости от частоты и мощности рассеяния в импульсе для биполярных мощных СВЧ транзисторов представлены в табл. А3.12.

Таблица А3.11

Группа изделий	Нагрузка по напряжению $s_1$ , %	$K_{s1}$
Диоды, кроме стабилитронов, диодные сборки <sup>1)</sup>	от 0 до 60	0,7
	70	0,75
	80	0,8
	90	0,9
Транзисторы биполярные, кроме мощных СВЧ, транзисторные сборки <sup>2)</sup>	от 0 до 50	0,5
	50	0,7
	60	0,8
	70	1,0
	80	1,5
	90	2,0

Таблица А3.12

$f$ , МГц	$K_f$ при мощности в импульсе								
	<1	1-5	10	20	30	50	100	200	300
300-400	1	1	1	1	1	1	1		10
1000	1	1,5	1,5	1,5	1,5	2	5	10	-
1500	1	1,5	1,5	1,5	1,5	3	10	-	-
2000	1	2	2	6	10	20	-	-	-
3000	1	4	8	20	-	-	-	-	-
4000	1	10	20	30	-	-	-	-	-

#### **А4. Эксплуатационные интенсивности отказов пьезоэлектрических приборов и электромеханических фильтров**

Эксплуатационные интенсивности отказов пьезоэлектрических приборов и электромеханических фильтров рассчитывается по формулам, представленным в табл. А4.1.

Таблица А4.1

Группа пьезоэлектрических приборов и электромеханических фильтров	Расчетные формулы
Резонаторы пьезоэлектрические	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_T \cdot K_3$
Фильтры пьезоэлектрические полосовые и режекторные кварцевые Генераторы пьезоэлектрические Фильтры электромеханические полосовые	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_T \cdot K_3$
Фильтры пьезоэлектрические полосовые пьезокерамические и пьезокристаллические Элементы пьезоэлектрические Преобразователи и датчики пьезоэлектрические Частотно-избирательные микроблоки	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_3$

$K_T$  - коэффициент режима работы (зависит от температуры);

$K_3$  - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. прил. А1).

Значения базовой интенсивности отказов ( $\lambda_6$ ) пьезоэлектрических приборов и электромеханических фильтров приведены в табл. А4.2.

Таблица А4.2

Группа пьезоэлектрических приборов и	$\lambda_6 \cdot 10^6$ 1/ч
Резонаторы пьезоэлектрические: <i>простые</i>	0,025
<i>прецизионные</i>	0,01
Генераторы пьезоэлектрические	0,09
Фильтры пьезоэлектрические: <i>полосовые пьезокерамические</i>	0,11*
<i>полосовые кварцевые</i>	0,12
<i>полосовые пьезокристаллические</i>	0,75*
Частотно-избирательные микроблоки	3,4*
Элементы пьезоэлектрические	0,04*
Преобразователи и датчики пьезоэлектрические	0,13*
Фильтры электромеханические полосовые	0,05

Примечание: \* - приведены значения  $\lambda_6$ , полученные по результатам испытаний при максимальной температуре по ТУ.

Таблица А4.3																	
Тип изделия	K <sub>T</sub> для температуры, °С																
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
Резонаторы	1	1,105	1,217	1,337	1,463	1,598	1,74	1,89	2,047	2,213	2,387	2,568	2,759	2,957	3,163	3,378	3,602
Генераторы	1	1,08	1,17	1,25	1,35	1,44	1,54	1,64	1,75	1,86	1,97	2,09	2,21	2,33	2,46	2,59	-
Фильтры	1	1,09	1,19	1,29	1,4	1,51	1,63	1,75	1,88	2,01	2,15	2,3	2,45	-	-	-	-
Фильтры электромеханические	1	1,19	1,4	1,64	1,9	2,2	2,54	2,91	3,33	3,79	4,29	4,85	5,46	-	-	-	-

Таблица А4.4								
Тип ЭРЭ	Резистор	Конденсатор	Диод	Транзистор	Интегральная схема	Соединители	Дроссели и катушки индуктивности	Транзисторы
τ <sub>В</sub> , ч	0,5	0,5	0,5	0,75	1	1	0,5	0,75

Усредненные значения коэффициента режима  $K_T$  - в зависимости от температуры для пьезоэлектрических приборов и фильтров электромеханических представлены в таблице А4.3.

Среднее время восстановления для некоторых ЭРЭ представлены в табл. А4.4.

### А5. Эксплуатационные интенсивности отказов резисторов

Эксплуатационные интенсивности отказов отдельных групп резисторов рассчитываются по формулам, приведенным в табл. А5.1.

Таблица А5.1

Группа резисторов	Расчетные формулы
Резисторы постоянные непроволочные: металлодиэлектрические	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R \cdot K_M \cdot K_{\text{стаб}}$
металлизированные композиционные пленочные композиционные объемные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R$
Резисторы постоянные проволочные и металлофольговые: нагрузочные прецизионные особостабильные металлофольговые	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R$
Резисторы переменные непроволочные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R \cdot K_{s1}$
Резисторы переменные проволочные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R$
Терморезисторы	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_3$
Микросхемы резисторные пленочные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{\text{сл}} \cdot K_{\text{корп}}$
Наборы резисторов тонкопленочные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{\text{сл}} \cdot K_{\text{корп}} \cdot K_{\text{техн}}$
Наборы резисторов толстопленочные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R \cdot K_{\text{техн}}$
Сборки резисторные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3$
Поглотители	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_R$

Обозначения поправочных коэффициентов:

$K_p$  – коэффициент режима (зависит от электрической нагрузки и температуры окружающей среды);

$K_R$  – коэффициент, учитывающий величину номинального сопротивления для отдельных групп резисторов;

$K_M$  – коэффициент, учитывающий величину номинальной мощности для металлодиэлектрических резисторов и поглотителей;

$K_{s1}$  – коэффициент, учитывающий отношение рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ для переменных непроволочных резисторов;

$K_{сл}$  – коэффициент, учитывающий сложность микросхем резисторных пленочных и тонкопленочных наборов резисторов;

$K_{корп}$  – коэффициент, учитывающий вид корпуса для микросхем резисторных пленочных и тонкопленочных наборов резисторов;

$K_{стаб}$  – коэффициент, учитывающий величину допуска;

$K_{техн}$  – коэффициент, учитывающий реализацию в виде набора резисторов;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. прил. А1).

Базовые интенсивности отказов ( $\lambda_6$ ) отдельных групп резисторов приведены в табл. А5.2.

Таблица А5.2

Группа резисторов	$\lambda_6 \cdot 10^6, 1/ч$
Резисторы постоянные непроволочные: <i>металлодиэлектрические (кроме прецизионных)</i>	0,05
<i>металлодиэлектрические прецизионные</i>	0,043
<i>металлизированные</i>	0,04
<i>композиционные пленочные</i>	0,03
<i>композиционные объемные</i>	0,04
Резисторы постоянные проволочные и металлофольговые: <i>нагрузочные</i>	0,032
<i>прецизионные, особо-стабильные и металлофольговые</i>	0,0075
Резисторы переменные непроволочные: <i>металлоокисные</i>	0,006
<i>керметные</i>	0,009
<i>композиционные пленочные</i>	0,003
<i>композиционные объемные</i>	0,015
<i>потенциометры</i>	0,015
Резисторные переменные проволочные: <i>подстроечные</i>	0,018
<i>регулируемые</i>	0,007
Терморезисторы	0,008
	0,058*

Микросхемы резисторные пленочные и наборы резисторов	0,0095
Сборки резисторные	0,02
Поглотители	0,05

Примечание: \*Значение интенсивности отказов соответствует максимально допустимой по ТУ температуре окружающей среды и без нагрузки.

Значения коэффициента режима  $K_p$  в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды представлены в табл. А5.3.

Таблица А5.3

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P/P_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b>Резисторы постоянные непроволочные</b>										
<i>Металлодиэлектрические, металлизированные, резисторные сборки, поглотители</i>										
25	0,35	0,40	0,45	0,51	0,58	0,65	0,72	0,81	0,9	1,00
30	0,36	0,41	0,47	0,53	0,59	0,67	0,75	0,84	0,94	1,05
35	0,37	0,42	0,48	0,55	0,62	0,69	0,78	0,87	0,98	1,09
40	0,38	0,44	0,50	0,57	0,64	0,72	0,81	0,91	1,02	1,15
45	0,40	0,46	0,52	0,59	0,67	0,76	0,85	0,96	1,08	1,21
50	0,41	0,48	0,54	0,62	0,70	0,80	0,90	1,01	1,14	1,28
55	0,43	0,50	0,57	0,65	0,74	0,84	0,95	1,07	1,21	1,36
60	0,46	0,53	0,61	0,69	0,79	0,90	1,01	1,15	1,29	1,46
65	0,48	0,56	0,65	0,74	0,84	0,96	1,09	1,23	1,39	1,57
70	0,52	0,60	0,69	0,80	0,91	1,03	1,18	1,33	1,51	1,71
75	0,56	0,65	0,75	0,86	0,99	1,13	1,28	1,46	1,65	1,87
80	0,61	0,71	0,82	0,94	1,08	1,24	1,41	1,60	1,82	2,06
85	0,67	0,78	0,90	1,04	1,20	1,37	1,57	1,78	2,03	2,31
90	0,74	0,87	1,01	1,17	1,34	1,54	1,76	2,01	2,29	2,60
95	0,83	0,98	1,14	1,32	1,52	1,75	2,00	2,29	2,61	2,98
100	0,95	1,12	1,31	1,52	1,75	2,01	2,31	2,64	3,02	3,45
105	1,10	1,30	1,52	1,77	2,04	2,35	2,71	3,10	3,55	4,06
110	1,30	1,54	1,80	2,09	2,42	2,80	3,22	3,70	4,24	4,86
115	1,56	1,85	2,17	2,53	2,93	3,39	3,91	4,50	5,17	-
120	1,91	2,27	2,67	3,11	3,62	4,19	4,84	5,58	-	-
125	2,40	2,85	3,35	3,92	4,57	5,30	-	-	-	-
130	3,08	3,67	4,32	5,07	-	-	-	-	-	-
135	4,06	4,85	-	-	-	-	-	-	-	-
140	5,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Композиционные пленочные</i>										
25	0,27	0,33	0,39	0,45	0,52	0,60	0,68	0,77	0,88	0,99
30	0,29	0,35	0,41	0,48	0,56	0,64	0,74	0,84	0,95	1,08
35	0,31	0,37	0,44	0,52	0,6	0,69	0,79	0,91	1,03	1,17
40	0,33	0,4	0,47	0,56	0,65	0,75	0,86	0,98	1,12	1,27
45	0,35	0,43	0,51	0,60	0,70	0,81	0,93	1,07	1,22	1,39
50	0,38	0,46	0,55	0,65	0,76	0,88	1,01	1,17	1,33	1,52

Продолжение табл. А5.3

55	0,40	0,50	0,59	0,70	0,82	0,96	1,11	1,27	1,46	1,67
<i>Композиционные объемные</i>										
25	0,44	0,47	0,50	0,54	0,59	0,65	0,72	0,80	0,89	1,00
30	0,46	0,49	0,53	0,57	0,63	0,69	0,77	0,85	0,95	1,07
35	0,49	0,52	0,56	0,61	0,67	0,74	0,82	0,91	1,03	1,16
40	0,52	0,55	0,59	0,65	0,71	0,79	0,88	0,98	1,11	1,25
45	0,55	0,58	0,63	0,69	0,76	0,84	0,94	1,06	1,19	1,36
50	0,58	0,62	0,67	0,73	0,81	0,90	1,01	1,14	1,29	1,47
55	0,61	0,65	0,71	0,78	0,86	0,96	1,08	1,22	1,39	1,59
60	0,65	0,69	0,76	0,83	0,92	1,03	1,16	1,32	1,51	1,73
65	0,69	0,74	0,80	0,89	0,99	1,11	1,25	1,43	1,63	1,88
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P/P_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
70	0,73	0,78	0,86	0,95	1,06	1,19	1,35	1,54	1,77	2,04
75	0,77	0,84	0,91	1,01	1,13	1,28	1,46	1,67	1,92	2,23
80	0,82	0,89	0,98	1,09	1,22	1,38	1,57	1,81	2,09	2,43
85	0,88	0,95	1,04	1,16	1,31	1,48	1,70	1,96	2,27	2,65
<b>Резисторы постоянные проволочные и металлофольговые</b>										
<i>Нагрузочные</i>										
25	0,14	0,17	0,21	0,26	0,32	0,40	0,50	0,62	0,79	1,00
30	0,15	0,18	0,22	0,27	0,34	0,42	0,53	0,67	0,85	1,09
35	0,16	0,19	0,23	0,29	0,36	0,46	0,58	0,73	0,93	1,18
40	0,16	0,20	0,25	0,31	0,39	0,49	0,62	0,79	1,01	1,29
45	0,17	0,21	0,26	0,33	0,41	0,53	0,67	0,86	1,10	1,42
50	0,18	0,22	0,28	0,35	0,44	0,57	0,72	0,93	1,20	1,55
55	0,19	0,24	0,30	0,37	0,48	0,61	0,78	1,01	1,31	1,70
60	0,20	0,25	0,32	0,40	0,51	0,66	0,85	1,10	1,43	1,86
65	0,21	0,27	0,34	0,43	0,55	0,71	0,92	1,20	1,56	2,05
70	0,23	0,28	0,36	0,46	0,59	0,77	1,00	1,30	1,71	2,25
75	0,24	0,30	0,38	0,49	0,64	0,83	1,08	1,42	1,88	2,48
80	0,26	0,32	0,41	0,53	0,69	0,90	1,18	1,56	2,06	2,73
85	0,27	0,34	0,44	0,57	0,74	0,97	1,28	1,70	2,26	3,02
90	0,29	0,37	0,47	0,61	0,80	1,06	1,40	1,86	2,49	3,34
95	0,31	0,39	0,51	0,66	0,87	1,15	1,53	2,04	2,74	3,69
100	0,33	0,42	0,55	0,71	0,94	1,25	1,67	2,24	3,02	4,09
<i>Прецизионные</i>										
25	0,12	0,15	0,18	0,23	0,29	0,37	0,47	0,60	0,78	1,01
30	0,12	0,15	0,19	0,24	0,30	0,39	0,50	0,64	0,83	1,08
35	0,13	0,16	0,19	0,25	0,31	0,40	0,52	0,68	0,89	1,17
40	0,13	0,16	0,20	0,25	0,33	0,42	0,55	0,73	0,96	1,27
45	0,13	0,16	0,21	0,26	0,34	0,45	0,59	0,77	1,03	1,37
50	0,13	0,17	0,21	0,27	0,36	0,47	0,62	0,83	1,11	1,49
55	0,14	0,17	0,22	0,29	0,38	0,50	0,66	0,89	1,20	1,63
60	0,14	0,18	0,23	0,30	0,39	0,53	0,71	0,96	1,30	1,78
65	0,14	0,18	0,24	0,31	0,42	0,56	0,76	1,03	1,41	1,95
70	0,15	0,19	0,25	0,33	0,44	0,60	0,81	1,12	1,54	2,14
75	0,15	0,20	0,26	0,35	0,47	0,64	0,88	1,21	1,69	2,36

Продолжение табл. А5.3

80	0,16	0,20	0,27	0,36	0,50	0,68	0,95	1,32	1,85	2,62
85	0,16	0,21	0,28	0,39	0,53	0,73	1,03	1,44	2,05	2,91
90	0,17	0,22	0,3	0,41	0,57	0,79	1,12	1,59	2,27	3,25
95	0,18	0,24	0,32	0,44	0,61	0,86	1,22	1,75	2,52	3,65
100	0,19	0,25	0,34	0,47	0,66	0,94	1,35	1,94	2,82	4,12
<i>Особостабильные</i>										
25	0,44	0,46	0,49	0,52	0,57	0,62	0,69	0,77	0,87	0,99
30	0,51	0,53	0,56	0,61	0,66	0,73	0,81	0,90	1,02	1,17
<i>Металлофольговые</i>										
35	0,59	0,62	0,66	0,71	0,77	0,85	0,95	1,07	1,21	1,39
40	0,70	0,73	0,78	0,84	0,92	1,02	1,14	1,28	1,46	1,67
45	0,84	0,88	0,93	1,01	1,11	1,22	1,37	1,55	1,77	2,04
50	1,01	1,06	1,13	1,22	1,34	1,49	1,68	1,90	2,18	2,52
55	1,24	1,30	1,39	1,51	1,66	1,84	2,08	2,37	2,72	3,16
60	1,53	1,61	1,73	1,88	2,07	2,31	2,61	2,98	3,44	4,01
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P/P_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
65	1,93	2,03	2,18	2,37	2,62	2,94	3,33	3,81	4,42	5,17
70	2,46	2,60	2,79	3,05	3,38	3,79	4,31	4,95	5,76	6,76
75	3,20	3,38	3,64	3,98	4,42	4,97	5,67	6,54	7,62	8,98
80	4,23	4,47	4,82	5,28	5,88	6,64	7,59	8,78	10,2	12,1
85	5,68	6,01	6,49	7,13	7,96	9,01	10,3	11,9	14,0	16,7
<i>Металлофольговые</i>										
25	0,42	0,47	0,52	0,59	0,66	0,74	0,83	0,94	1,06	1,20
30	0,51	0,56	0,63	0,7	0,79	0,89	1,00	1,13	1,27	1,44
35	0,61	0,67	0,75	0,84	0,94	1,06	1,20	1,35	1,53	1,73
40	0,73	0,80	0,90	1,00	1,13	1,27	1,43	1,62	1,83	2,07
45	0,87	0,96	1,07	1,20	1,35	1,52	1,71	1,93	2,19	2,48
50	1,03	1,15	1,28	1,43	1,61	1,81	2,05	2,31	2,62	2,97
55	1,23	1,37	1,53	1,71	1,92	2,17	2,44	2,76	3,13	3,54
60	1,47	1,63	1,82	2,04	2,29	2,58	2,92	3,30	3,73	4,23
65	1,75	1,94	2,17	2,43	2,73	3,08	3,48	3,93	4,45	5,05
70	2,08	2,31	2,58	2,90	3,25	3,67	4,14	4,68	5,30	6,01
75	2,48	2,75	3,07	3,44	3,87	4,36	4,93	5,57	6,31	7,16
80	2,94	3,27	3,65	4,09	4,60	5,19	5,86	6,63	7,51	8,52
85	3,49	3,88	4,34	4,86	5,47	6,17	6,96	7,88	8,93	10,1
90	4,15	4,61	5,15	5,77	6,49	7,32	8,27	9,36	10,6	12,0
95	4,92	5,46	6,10	6,85	7,70	8,69	9,82	11,1	12,6	14,3
100	5,82	6,47	7,23	8,11	9,13	10,3	11,6	13,1	14,9	16,9
<b>Резисторы переменные неприволочные</b>										
<i>Металлоокисные</i>										
25	0,66	0,69	0,72	0,76	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	1,00
30	0,67	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85	0,89	0,94	0,98	1,03
35	0,68	0,72	0,75	0,79	0,83	0,88	0,92	0,97	1,02	1,07
40	0,70	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00	1,05	1,11
45	0,71	0,75	0,79	0,84	0,88	0,93	0,98	1,04	1,10	1,16
50	0,73	0,77	0,82	0,86	0,91	0,97	1,02	1,08	1,14	1,21
55	0,75	0,79	0,84	0,89	0,95	1,00	1,06	1,13	1,20	1,27
60	0,77	0,82	0,87	0,93	0,98	1,04	1,11	1,18	1,25	1,33

Продолжение табл. А5.3

65	0,80	0,85	0,90	0,96	1,03	1,09	1,16	1,24	1,32	1,40
70	0,83	0,88	0,94	1,00	1,07	1,14	1,22	1,30	1,39	1,48
75	0,86	0,92	0,98	1,05	1,12	1,20	1,29	1,38	1,47	1,58
80	0,90	0,96	1,03	1,10	1,18	1,27	1,36	1,46	1,57	1,68
85	0,94	1,01	1,08	1,16	1,25	1,35	1,45	1,56	1,67	1,80
90	0,99	1,06	1,14	1,23	1,33	1,43	1,54	1,67	1,79	
95	1,04	1,12	1,21	1,31	1,42	1,53	1,66	1,79	1,93	
100	1,10	1,20	1,30	1,40	1,52	1,65	1,78	1,93	2,09	
<i>Керметные</i>										
25	0,67	0,72	0,76	0,8	0,83	0,87	0,9	0,94	0,97	1,00
30	0,72	0,77	0,82	0,86	0,90	0,93	0,97	1,01	1,04	1,08
35	0,78	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02	1,06	1,10	1,14	1,18
40	0,86	0,92	0,97	1,03	1,07	1,12	1,17	1,21	1,25	1,30
45	0,95	1,02	1,09	1,14	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
50	1,08	1,16	1,23	1,30	1,36	1,42	1,48	1,54	1,60	1,65
55	1,24	1,34	1,42	1,50	1,57	1,64	1,71	1,78	1,85	1,91
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P/P_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
60	1,46	1,57	1,67	1,77	1,85	1,94	2,02	2,10	2,18	2,26
65	1,76	1,90	2,02	2,13	2,24	2,34	2,44	2,54	2,64	2,73
70	2,17	2,34	2,49	2,63	2,77	2,90	3,02	3,15	3,27	3,39
75	2,75	2,98	3,17	3,35	3,52	3,69	3,85	4,01	4,17	4,33
80	3,61	3,91	4,17	4,41	4,64	4,86	5,07	5,29	5,50	5,71
85	4,91	5,32	5,68	6,01	6,32	6,63	6,93	7,22	7,52	7,81
90	6,96	7,54	8,05	8,53	8,98	9,42	9,85	10,2	10,7	11,1
95	10,31	11,1	11,9	12,6	13,35	14,0	14,6	15,2	15,9	16,5
10	16,07	17,4	18,6	19,7	20,86	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9
<i>Композиционные пленочные</i>										
25	0,15	0,19	0,24	0,30	0,36	0,45	0,54	0,66	0,80	0,97
30	0,16	0,21	0,26	0,33	0,40	0,50	0,61	0,74	0,90	1,09
35	0,18	0,23	0,29	0,36	0,45	0,55	0,68	0,83	1,01	1,23
40	0,20	0,26	0,32	0,40	0,50	0,62	0,77	0,94	1,15	1,40
45	0,22	0,29	0,36	0,46	0,57	0,71	0,87	1,07	1,32	1,61
50	0,25	0,32	0,41	0,52	0,65	0,81	1,00	1,23	1,52	1,86
55	0,28	0,37	0,47	0,59	0,75	0,93	1,16	1,43	1,77	2,17
60	0,33	0,42	0,54	0,69	0,87	1,09	1,35	1,68	2,08	2,56
65	0,38	0,49	0,63	0,81	1,02	1,28	1,60	1,99	2,46	3,05
70	0,44	0,58	0,75	0,95	1,21	1,52	1,90	2,37	2,95	3,66
75	0,52	0,69	0,89	1,14	1,44	1,82	2,29	2,87		
80	0,62	0,82	1,07	1,38	1,75	2,22	2,80	3,51		
85	0,76	1,00	1,31	1,68	2,15	2,73	3,46			
90	0,93	1,24	1,62	2,09	2,68	3,41	4,32			
95	1,16	1,55	2,03	2,63	3,38					
10	1,47	1,96	2,58	3,35	4,33					
<i>Композиционные объемные, потенциометры</i>										
25	0,76	0,78	0,79	0,81	0,84	0,86	0,89	0,92	0,95	0,99
30	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,01

Продолжение табл. А5.3

35	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,90	0,93	0,96	1,00	1,04
40	0,81	0,82	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,99	1,02	1,06
45	0,83	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,98	1,02	1,05	1,10
50	0,85	0,87	0,89	0,91	0,94	0,98	1,01	1,05	1,09	1,13
55	0,87	0,89	0,92	0,94	0,97	1,01	1,04	1,08	1,13	1,17
60	0,90	0,92	0,95	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22
65	0,93	0,96	0,98	1,01	1,05	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27
70	0,97	0,99	1,02	1,05	1,09	1,13	1,17	1,22	1,27	1,33
75	1,01	1,04	1,07	1,10	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33	1,39
80	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,24	1,29	1,34	1,40	1,47
85	1,11	1,14	1,18	1,21	1,26	1,31	1,36	1,42	1,48	1,55
<b>Резисторы переменные проволочные</b>										
90	1,18	1,21	1,24	1,28	1,33	1,38	1,44	1,51	1,57	1,65
95	1,25	1,28	1,32	1,37	1,42	1,47	1,54	1,60	1,68	1,76
10	1,33	1,37	1,41	1,46	1,51	1,58	1,65	1,72	1,80	1,89
<b>Резисторы переменные проволочные</b>										
25	0,31	0,38	0,45	0,52	0,59	0,66	0,74	0,82	0,91	1,00
30	0,32	0,40	0,47	0,54	0,61	0,69	0,77	0,85	0,94	1,04
35	0,34	0,41	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	0,89	0,99	1,09
40	0,35	0,43	0,51	0,59	0,67	0,76	0,85	0,95	1,05	1,16
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $P/P_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
45	0,38	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82	0,92	1,03	1,14	1,25
50	0,41	0,51	0,60	0,70	0,80	0,91	1,02	1,14	1,26	1,39
55	0,47	0,58	0,69	0,80	0,92	1,04	1,16	1,30	1,44	1,60
60	0,56	0,69	0,82	0,95	1,09	1,24	1,39	1,56	1,73	1,92
65	0,70	0,87	1,04	1,21	1,39	1,58	1,77	1,98	2,21	2,44
70	0,96	1,20	1,43	1,67	1,91	2,17	2,45	2,74	3,05	3,39
75	1,47	1,83	2,19	2,56	2,94	3,35	3,78	4,23	4,72	5,23
80	2,60	3,25	3,89	4,54	5,23	5,96	6,73	7,55	8,42	9,35
85	5,59	6,98	8,36	9,79	11,29	12,8	14,5	16,3	18,2	20,2
<b>Наборы</b>										
25	0,27	0,30	0,34	0,40	0,46	0,54	0,64	0,75	0,89	1,05
30	0,30	0,34	0,39	0,45	0,52	0,61	0,71	0,84	0,99	1,18
35	0,33	0,38	0,43	0,50	0,58	0,68	0,80	0,95	1,12	1,33
40	0,37	0,42	0,49	0,56	0,66	0,77	0,90	1,06	1,26	1,49
45	0,42	0,48	0,55	0,63	0,74	0,86	1,01	1,20	1,42	1,68
50	0,47	0,54	0,62	0,71	0,83	0,97	1,14	1,35	1,60	1,90
55	0,53	0,60	0,69	0,80	0,94	1,09	1,29	1,52	1,80	2,14
60	0,60	0,68	0,78	0,91	1,05	1,23	1,45	1,72	2,03	2,42
65	0,68	0,77	0,88	1,02	1,19	1,39	1,64	1,94	2,30	2,73
70	0,76	0,87	1,00	1,15	1,34	1,58	1,85	2,19	2,60	3,09
75	0,86	0,98	1,13	1,30	1,52	1,78	2,10	2,48	2,94	3,50
80	0,97	1,11	1,27	1,47	1,72	2,02	2,37	2,81	3,33	3,97
85	1,10	1,25	1,44	1,67	1,95	2,28	2,69	3,18	3,78	4,50
90	1,25	1,42	1,63	1,89	2,21	2,59	3,05	3,61	4,29	5,11
95	1,42	1,61	1,85	2,14	2,50	2,94	3,46	4,10	4,87	5,80
10	1,61	1,82	2,10	2,43	2,84	3,34	3,93	4,65	5,53	6,59

Микросхемы резисторные пленочные										
25	0,32	0,40	0,47	0,54	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1,00
30	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73	0,82	0,90	0,99	1,09
35	0,34	0,43	0,52	0,61	0,69	0,78	0,88	0,98	1,08	1,18
40	0,35	0,45	0,55	0,64	0,74	0,84	0,95	1,06	1,17	1,29
45	0,37	0,47	0,58	0,68	0,79	0,91	1,02	1,15	1,28	1,41
50	0,38	0,50	0,61	0,73	0,85	0,98	1,11	1,25	1,40	1,55
55	0,40	0,53	0,65	0,78	0,91	1,06	1,21	1,36	1,53	1,71
60	0,41	0,55	0,69	0,84	0,99	1,14	1,31	1,49	1,68	1,89
65	0,43	0,59	0,74	0,90	1,06	1,24	1,43	1,64	1,86	2,09
70	0,45	0,62	0,79	0,96	1,15	1,35	1,57	1,80	2,05	2,32
75	0,48	0,66	0,84	1,04	1,25	1,48	1,72	1,99	2,27	2,58
80	0,50	0,70	0,90	1,12	1,36	1,62	1,90	2,20	2,53	2,88
85	0,53	0,74	0,97	1,22	1,49	1,78	2,09	2,44	2,82	3,23
90	0,55	0,80	1,05	1,32	1,62	1,96	2,32	2,72	3,16	3,63
95	0,59	0,85	1,13	1,44	1,78	2,16	2,58	3,04	3,54	4,10
10	0,62	0,91	1,23	1,57	1,96	2,39	2,87	3,4	3,99	4,64

Таблица А5.4

Диапазон сопротивлений	$K_R$	Диапазон сопротивлений	$K_R$
<b>Резисторы постоянные непроволочные</b>			
<i>Металлодиэлектрические и металлизированные, поглотители</i>			
< 1 кОм	1,0	> 100 кОм < 1 МОм	2,0
> 1 кОм < 100 кОм	0,7	> 1 МОм	0,6
<i>Композиционные пленочные</i>			
< 10 МОм	0,6	> 10 МОм	1,6
<i>Композиционные объемные</i>			
< 150 Ом	0,9	> 10 кОм < 1 МОм	0,7
> 150 Ом < 10 кОм	1,5		
<b>Резисторы постоянные проволочные и металлофольговые</b>			
<i>Нагрузочные</i>			
< 1 кОм	1,3	> 10 кОм < 100 кОм	1,5
> 1 кОм < 10 кОм	0,8		
<i>Прецизионные, особостабильные и металлофольговые</i>			
< 1 кОм	1,6	> 10 кОм < 100 кОм	0,4
> 1 кОм < 10 кОм	0,6	> 100 кОм	1,0
<b>Резисторы переменные непроволочные</b>			
<i>Керметные (кроме СПЗ-19) и металлоокисные</i>			
> 100 Ом < 100 Ом	1,6	> 330 Ом	1,0
> 100 Ом < 330 Ом	1,4		
<i>СПЗ-19</i>			
> 47 Ом < 100 Ом	5,1	> 1 кОм < 100 кОм	1,0
> 100 Ом < 1 кОм	1,6	> 100 кОм	0,5
<i>Композиционные пленочные</i>			
< 1 кОм	1,0	> 100 кОм < 1 МОм	1,0
> 1 кОм < 10 кОм	0,3	> 1 МОм	1,6
> 10 кОм < 100 кОм	0,5		
<i>Композиционные объемные, потенциометры</i>			
> 100 Ом < 100 Ом	0,5	> 10 кОм < 100 кОм	0,9

<i>Окончание табл. А5.4</i>			
> 100 Ом < 1 кОм	1,0	> 100кОм < 1МОм	1,0
> 1 кОм < 10 кОм	0,5	> 1 МОм	0,4
<b>Резисторы переменные проволочные</b>			
<i>Подстроечные</i>			
< 1 кОм	1,9	> 10кОм < 100 кОм	0,8
> 1 кОм < 10 кОм	0,3		
<i>Регулировочные</i>			
< 1 кОм	1,7	> 10 кОм < 100 кОм	0,9
> 1 кОм < 10 кОм	0,5		
<b>Наборы резисторов толсто пленочные</b>			
> 100 Ом < 1 кОм	0,5	> 150кОм < 1 МОм	1,0
> 1 кОм < 150 кОм	0,3	> 1 МОм	1,3

Значения коэффициента  $K_R$  в зависимости от величины номинального сопротивления для отдельных групп резисторов представлены в табл.А5.4.

Значения коэффициента  $K_M$  в зависимости от величины номинальной мощности для металлодиэлектрических резисторов представлены в табл.А5.5.

Таблица А5.5

Мощность, Вт	$K_M$
0,062 ÷ 0,5	0,7
1 ÷ 2	1,5

Значения коэффициента  $K_{s1}$  в зависимости от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ для переменных непроволочных резисторов представлены в табл. А5.6.

Таблица А5.6

$U / U_{\text{макс}}$	$K_{s1}$
≤ 0,8	1,0
> 0,8 ≤ 0,9	1,05
> 0,9 ≤ 1,0	1,2

$$U = \sqrt{P \cdot R},$$

где:  $U$  - рабочее напряжение, В;  $P$  – рабочая мощность, Вт;  $R$  - сопротивление, Ом;  $U_{\text{макс}}$  - максимально допустимое напряжение по ТУ, В.

Значения коэффициента  $K_{\text{сл}}$  для микросхем резисторных пленочных и тонкопленочных наборов резисторов приведены в табл.А5.7.

Таблица А5.7

Количество элементов в схеме	$K_{сл}$
<10	0,5
$\geq 10 \leq 15$	0,7
$> 15 \leq 20$	1,0
>20	1,3

Значения коэффициента  $K_{корп}$  для микросхем резисторных пленочных и тонкопленочных наборов резисторов приведены в табл. А5.8.

Таблица А5.8

Вид корпуса	$K_{корп}$
Герметичный	0,5
Пластмассовый	1,0
Бескорпусной	5,0

Значения коэффициента  $K_{стаб}$  в зависимости от допуска представлены в табл. А5.9.

Таблица А5.9

Допуск, %	$K_{стаб}$
Металлодиэлектрические резисторы (кроме прецизионных)	
0,5	2
1, 2, 5, 10 и более	1
Прецизионные	
0,05	5
0,1	2,5
0,25	1
0,5	0,1
1, 2, 5, 10	0,05

Значения коэффициента  $K_{техн}$  для наборов резисторов представлены в табл. А5.10.

Таблица А5.10

Технология изготовления	$K_{\text{техн}}$
Тонкопленочная	1,0
Толстопленочная	0,8

### А6. Эксплуатационные интенсивности отказов конденсаторов

Эксплуатационные интенсивности отказов отдельных групп конденсаторов рассчитываются по формулам, приведенным в табл. А6.1.

Таблица А6.1

Группа конденсаторов	Расчетные формулы
Конденсаторы постоянной емкости	
Керамические на номинальное напряжение менее 1600 В Керамические на номинальное напряжение 1600 В и выше	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_3$
Тонкопленочные с неорганическим	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_3$
Стекланные Слюдяные Бумажные и металло-бумажные Оксидно-электролитические алюминиевые (кроме импульсных)	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_3$
Оксидно - электролитические алюминиевые импульсные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_3$
Объемно-пористые танталовые	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_3$
Оксидно-полупроводниковые	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_{\text{п.с}} \cdot K_3$
С органическим синтетическим диэлектриком: полистирольные фторопластовые полиэтилентерефталатные низковольтные полиэтилентерефталатные высоковольтные комбинированные низковольтные комбинированные высоковольтные постоянного напряжения	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_3$
комбинированные высоковольтные	$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_3$

поликарбонатные и полипропиленовые	$\lambda_9 = \lambda_6 \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_9$
Конденсаторы подстроенные: с твердым диэлектриком воздушные	$\lambda_9 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_9$
Конденсаторы и фильтры	$\lambda_9 = \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_9$

Обозначения поправочных коэффициентов:

$K_p$  – коэффициент режима (зависит от электрической нагрузки и температуры окружающей среды);

$K_c$  – коэффициент, учитывающий величину номинальной емкости и математические модели его расчета для отдельных групп конденсаторов;

$K_9$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. Приложение А1);

$K_{пс}$  – коэффициент, учитывающий величину активного последовательного сопротивления для оксидно-полупроводниковых конденсаторов;

$K_t$  – температурный коэффициент (зависит от температуры окружающей среды для импульсных конденсаторов).

Базовые интенсивности отказов ( $\lambda_6$ ) отдельных групп конденсаторов представлены в табл. А6.2.

Таблица А6.2

Группа конденсаторов	$\lambda_6 \cdot 10^6, 1/ч$
Керамические на номинальное напряжение менее 1600 В	0,019
Керамические на номинальное напряжение 1600 В и выше	0,03
Тонкопленочные с неорганическим диэлектриком	0,003
Стекланные	0,003
Слюдяные	0,01
Бумажные и металlobумажные	0,02
Оксидно-электролитические алюминиевые	0,19
Оксидно-электролитические алюминиевые импульсные	$0,8 \cdot 10^{-8} 1/имп$
Объемно-пористые танталовые	0,123
Оксидно-полупроводниковые	0,07
С органическим синтетическим диэлектриком: <i>полистирольные</i>	0,055

<i>фторопластовые</i>	0,011
<i>полиэтилентерефталатные низковольтные</i>	0,043
<i>полиэтилентерефталатные высоковольтные</i>	0,83
<i>комбинированные низковольтные</i>	0,02
<i>комбинированные высоковольтные постоянного напряжения</i>	0,4
<i>комбинированные высоковольтные импульсные</i>	-
<i>поликарбонатные и полипропиленовые</i>	0,012
Подстроечные с твердым диэлектриком	0,012
Подстроечные воздушные	0,08
Конденсаторы и фильтры помехоподавляющие	0,016

Значения коэффициента режима  $K_p$  в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды представлены в таблице А6.3.

Таблица А6.3

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $U/U_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b>Конденсаторы керамические, тонкопленочные с неорганическим диэлектриком</b>										
25	0,027	0,034	0,053	0,089	0,149	0,238	0,362	0,527	0,739	1,004
30	0,033	0,041	0,063	0,106	0,178	0,284	0,433	0,631	0,885	1,202
35	0,039	0,049	0,076	0,127	0,213	0,34	0,518	0,755	1,059	1,438
40	0,047	0,059	0,09	0,152	0,255	0,407	0,62	0,903	1,267	1,721
45	0,056	0,07	0,108	0,183	0,305	0,487	0,742	1,081	1,516	2,06
50	0,067	0,084	0,13	0,218	0,365	0,583	0,888	1,294	1,815	2,465
55	0,08	0,101	0,155	0,261	0,437	0,698	1,063	1,548	2,172	2,95
60	0,096	0,12	0,186	0,313	0,523	0,835	1,272	1,853	2,599	3,531
65	0,115	0,144	0,222	0,374	0,625	1,0	1,522	2,218	3,111	4,226
70	0,138	0,172	0,266	0,448	0,748	1,197	1,822	2,654	3,723	5,057
75	0,165	0,206	0,318	0,536	0,896	1,432	2,181	3,176	4,455	6,052
80	0,197	0,247	0,381	0,642	1,072	1,714	2,61	3,802	5,332	7,244
85	0,236	0,295	0,456	0,768	1,283	2,051	3,123	4,55	6,381	8,669
90	0,283	0,354	0,546	0,919	1,536	2,455	3,738	5,445	7,637	10,375
95	0,339	0,423	0,653	1,1	1,838	2,938	4,473	6,517	9,14	12,417
100	0,405	0,506	0,781	1,317	2,199	3,516	5,354	7,799	10,939	14,86
105	0,485	0,606	0,935	1,576	2,632	4,208	6,407	9,334	13,092	17,785

Продолжение табл. А6.3

110	0,58	0,725	1,119	1,886	3,15	5,036	7,668	11,171	15,668	21,285
115	0,695	0,868	1,339	2,257	3,77	6,027	9,177	13,369	18,752	25,474
120	0,831	1,039	1,603	2,701	4,512	7,214	10,984	16,0	22,442	30,487
125	0,995	1,243	1,918	3,233	5,4	8,633	13,145	19,149	26,859	36,486
130	1,191	1,488	2,296	3,869	6,463	10,332	15,732	22,918	32,144	43,667
135	1,425	1,781	2,748	4,631	7,735	12,365	18,828	27,428	38,47	52,26
140	1,705	2,132	3,289	5,542	9,257	14,799	22,533	32,825	46,041	62,545
145	2,041	2,551	3,936	6,633	11,079	17,711	26,968	39,285	55,102	74,854
150	2,442	3,053	4,71	7,938	13,259	21,197	32,275	47,017	65,945	89,585
155	2,923	3,654	5,637	9,5	15,868	25,368	38,626	56,269	78,923	107,21
<b>Конденсаторы слюдяные</b>										
25	0,061	0,068	0,085	0,12	0,178	0,263	0,382	0,541	0,745	1,0
30	0,076	0,085	0,107	0,15	0,222	0,329	0,478	0,677	0,932	1,25
35	0,095	0,106	0,134	0,188	0,278	0,411	0,598	0,846	1,165	1,563
40	0,119	0,132	0,167	0,235	0,347	0,514	0,748	1,058	1,457	1,954
45	0,149	0,165	0,209	0,294	0,434	0,643	0,935	1,323	1,821	2,444
50	0,187	0,207	0,261	0,368	0,543	0,804	1,169	1,654	2,277	3,056
55	0,233	0,259	0,327	0,46	0,679	1,005	1,462	2,068	2,848	3,821
60	0,292	0,323	0,409	0,575	0,849	1,257	1,828	2,586	3,561	4,778
65	0,365	0,404	0,511	0,719	1,061	1,572	2,285	3,234	4,452	5,974
70	0,456	0,505	0,639	0,899	1,327	1,966	2,857	4,044	5,567	7,47
75	0,571	0,632	0,799	1,124	1,659	2,458	3,573	5,056	6,961	9,34
80	0,713	0,79	0,999	1,405	2,075	3,073	4,467	6,322	8,704	11,679
85	0,892	0,988	1,249	1,757	2,594	3,843	5,586	7,906	10,884	14,603
<b>Конденсаторы стеклянные</b>										
25	0,058	0,059	0,065	0,082	0,116	0,178	0,28	0,437	0,666	0,984
30	0,069	0,07	0,077	0,097	0,137	0,211	0,332	0,518	0,788	1,166
35	0,081	0,083	0,092	0,114	0,162	0,25	0,393	0,613	0,934	1,381
$t$ , °C	$K_p$ при $U/U_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
40	0,09	0,099	0,10	0,136	0,192	0,296	0,466	0,727	1,106	1,635
45	0,11	0,117	0,12	0,161	0,228	0,35	0,551	0,86	1,31	1,936
50	0,13	0,138	0,15	0,19	0,27	0,415	0,653	1,019	1,551	2,293
55	0,16	0,164	0,18	0,225	0,32	0,491	0,773	1,207	1,837	2,716
60	0,18	0,194	0,21	0,267	0,378	0,581	0,916	1,429	2,175	3,216
65	0,22	0,23	0,25	0,316	0,448	0,689	1,085	1,692	2,576	3,809
70	0,26	0,272	0,3	0,374	0,531	0,816	1,285	2,004	3,051	4,511
75	0,31	0,322	0,35	0,443	0,628	0,966	1,521	2,374	3,613	5,342
80	0,37	0,382	0,42	0,525	0,744	1,144	1,802	2,811	4,279	6,327
85	0,44	0,452	0,49	0,621	0,881	1,355	2,134	3,329	5,067	7,492
90	0,52	0,535	0,59	0,736	1,044	1,604	2,527	3,943	6,001	8,873
95	0,61	0,634	0,69	0,871	1,236	1,9	2,993	4,669	7,107	10,50
100	0,73	0,751	0,82	1,032	1,464	2,25	3,544	5,529	8,417	12,44
105	0,86	0,889	0,97	1,222	1,734	2,665	4,197	6,548	9,968	14,73
110	1,02	1,053	1,16	1,447	2,053	3,156	4,971	7,755	11,80	17,45
115	1,21	1,247	1,37	1,714	2,432	3,737	5,887	9,184	13,98	20,67
120	1,44	1,477	1,62	2,03	2,88	4,426	6,972	10,87	16,55	24,47
125	1,70	1,749	1,92	2,404	3,411	5,241	8,256	12,88	19,60	28,99

Продолжение табл. А6.3

130	2,023	2,071	2,28	2,847	4,039	6,207	9,778	15,25	23,22	34,33
135	2,396	2,453	2,70	3,371	4,783	7,351	11,58	18,06	27,49	40,65
140	2,837	2,905	3,2	3,993	5,665	8,706	13,71	21,39	32,56	48,15
145	3,36	3,44	3,78	4,728	6,709	10,31	16,24	25,33	38,56	57,02
150	3,979	4,074	4,48	5,6	7,945	12,21	19,23	30,00	45,67	67,53
<b>Конденсаторы бумажные и металлобумажные</b>										
25	0,06	0,070	0,08	0,125	0,184	0,273	0,397	0,561	0,773	1,037
30	0,06	0,072	0,09	0,129	0,190	0,282	0,410	0,580	0,798	1,071
35	0,06	0,076	0,09	0,134	0,199	0,294	0,427	0,605	0,833	1,118
40	0,07	0,080	0,10	0,142	0,210	0,311	0,452	0,640	0,881	1,182
45	0,07	0,086	0,10	0,153	0,226	0,335	0,487	0,689	0,948	1,272
50	0,08	0,095	0,12	0,168	0,249	0,369	0,536	0,758	1,044	1,400
<b>Конденсаторы оксидно-электролитические алюминиевые (кроме импульсных)</b>										
25	0,144	0,15	0,16	0,199	0,251	0,33	0,439	0,585	0,772	1,006
30	0,167	0,174	0,19	0,229	0,29	0,381	0,507	0,675	0,891	1,161
35	0,194	0,203	0,22	0,268	0,339	0,444	0,592	0,788	1,04	1,355
40	0,23	0,24	0,26	0,317	0,4	0,526	0,7	0,932	1,231	1,603
45	0,276	0,287	0,31	0,38	0,48	0,63	0,839	1,118	1,475	1,922
50	0,336	0,35	0,38	0,462	0,584	0,767	1,021	1,36	1,795	2,338
55	0,415	0,432	0,47	0,571	0,722	0,947	1,262	1,68	2,218	2,889
60	0,521	0,542	0,60	0,717	0,906	1,189	1,584	2,11	2,785	3,628
65	0,665	0,693	0,76	0,916	1,158	1,52	2,025	2,697	3,559	4,636
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $U/U_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
70	0,866	0,902	1,00	1,192	1,508	1,979	2,636	3,51	4,633	6,035
75	1,15	1,198	1,32	1,582	2,001	2,626	3,499	4,659	6,15	8,011
80	1,558	1,623	1,8	2,144	2,712	3,559	4,741	6,314	8,333	10,85
85	2,158	2,248	2,49	2,97	3,756	4,929	6,566	8,745	11,54	15,03
90	2,599	2,707	3,00	3,577	4,524	5,937	7,908	10,53	13,90	-
95	3,173	3,306	3,66	4,367	5,524	7,249	9,657	12,86	16,97	-
100	3,928	4,092	4,53	5,407	6,838	8,974	11,95	15,92	21,01	-
105	4,934	5,14	5,7	6,791	8,589	11,27	15,01	19,99	26,39	-
110	6,293	6,556	7,27	8,661	10,95	14,37	19,15	25,50	33,66	-
115	8,156	8,497	9,42	11,22	14,19	18,63	24,82	33,05	-	-
120	10,75	11,2	12,4	14,79	18,71	24,55	32,71	43,57	-	-
125	14,42	15,02	16,6	19,85	25,11	32,95	43,89	58,46	-	-
<b>Конденсаторы объемно-пористые танталовые</b>										
25	0,061	0,068	0,08	0,121	0,178	0,264	0,384	0,544	0,748	1,004
30	0,066	0,074	0,09	0,131	0,193	0,286	0,416	0,589	0,811	1,088
35	0,073	0,081	0,10	0,144	0,212	0,314	0,456	0,646	0,889	1,193

Продолжение табл. А6.3

40	0,081	0,09	0,11	0,159	0,235	0,349	0,507	0,717	0,987	1,325
45	0,09	0,101	0,12	0,18	0,265	0,393	0,571	0,808	1,112	1,492
50	0,10	0,116	0,14	0,205	0,303	0,449	0,653	0,924	1,273	1,708
55	0,12	0,135	0,17	0,239	0,353	0,524	0,761	1,077	1,483	1,989
60	0,14	0,16	0,20	0,284	0,42	0,622	0,904	1,28	1,762	2,364
65	0,17	0,194	0,24	0,345	0,51	0,756	1,098	1,555	2,14	2,872
70	0,21	0,242	0,30	0,43	0,635	0,941	1,367	1,935	2,664	3,575
75	0,27	0,309	0,39	0,55	0,812	1,203	1,749	2,475	3,407	4,572
80	0,36	0,408	0,51	0,725	1,07	1,586	2,305	3,262	4,491	6,025
85	0,50	0,555	0,70	0,987	1,458	2,16	3,14	4,443	6,117	8,208
90	0,55	0,616	0,77	1,096	1,618	2,397	3,484	4,931	6,788	-
95	0,64	0,715	0,90	1,271	1,877	2,781	4,043	5,721	7,877	-
100	0,76	0,844	1,06	1,501	2,216	3,283	4,772	6,754	9,298	-
105	0,91	1,015	1,28	1,805	2,665	3,949	5,74	8,123	-	-
110	1,12	1,247	1,57	2,216	3,273	4,848	7,047	9,974	-	-
115	1,41	1,566	1,97	2,783	4,11	6,089	8,85	12,52	-	-
120	1,82	2,016	2,54	3,583	5,291	7,838	11,39	-	-	-
125	2,40	2,666	3,36	4,739	6,998	10,36	15,06	-	-	-
<b>Конденсаторы оксидно-полупроводниковые</b>										
25	0,15	0,159	0,17	0,21	0,265	0,348	0,463	0,617	0,814	1,061
30	0,17	0,178	0,19	0,235	0,297	0,39	0,519	0,691	0,912	1,188
35	0,19	0,2	0,22	0,264	0,333	0,438	0,583	0,776	1,024	1,335
40	0,21	0,225	0,24	0,297	0,376	0,493	0,656	0,874	1,154	1,503
45	0,24	0,254	0,28	0,335	0,424	0,557	0,742	0,988	1,304	1,698
50	0,27	0,288	0,31	0,38	0,481	0,631	0,84	1,119	1,477	1,924
55	0,31	0,327	0,36	0,432	0,546	0,717	0,955	1,271	1,678	2,186
60	0,35	0,372	0,41	0,492	0,622	0,817	1,088	1,449	1,913	2,491
65	0,40	0,426	0,47	0,562	0,711	0,934	1,244	1,656	2,186	2,848
70	0,46	0,488	0,54	0,645	0,816	1,07	1,426	1,899	2,506	3,265
75	0,53	0,561	0,62	0,742	0,938	1,231	1,64	2,184	2,882	3,754
80	0,62	0,647	0,71	0,855	1,082	1,42	1,891	2,519	3,324	4,331
$t$ , °C	$K_p$ при $U/U_H$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
85	0,71	0,749	0,83	0,99	1,252	1,643	2,188	2,914	3,846	5,01
90	0,83	0,869	0,96	1,149	1,453	1,906	2,539	3,382	4,464	5,815
95	0,97	1,012	1,12	1,337	1,691	2,219	2,956	3,937	5,197	6,77
100	1,13	1,182	1,31	1,562	1,975	2,592	3,453	4,598	6,069	7,906
105	1,32	1,385	1,53	1,829	2,314	3,036	4,045	5,387	7,11	9,262
110	1,56	1,627	1,80	2,15	2,719	3,568	4,754	6,331	8,356	10,88
115	1,84	1,919	2,12	2,535	3,206	4,207	5,604	7,464	9,852	12,83
120	2,17	2,269	2,51	2,998	3,792	4,976	6,629	8,828	11,65	15,17
125	2,58	2,693	2,98	3,558	4,5	5,905	7,866	10,47	13,82	18,01
130	3,59	3,747	4,15	4,95	6,261	8,216	10,94	14,57	19,23	25,06
135	4,17	4,345	4,81	5,74	7,26	9,528	12,69	16,90	22,31	29,06
140	4,85	5,053	5,60	6,675	8,443	11,07	14,75	19,65	25,94	33,79
145	5,65	5,892	6,53	7,784	9,845	12,91	17,21	22,92	30,25	39,40
150	6,61	6,889	7,64	9,102	11,51	15,10	20,12	26,80	35,37	46,08
155	7,75	8,078	8,95	10,67	13,49	17,71	23,59	31,42	41,48	54,03

<b>Конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком (кроме фторопластовых и высоковольтных импульсных)</b>										
25	0,06	0,068	0,08	0,121	0,178	0,264	0,383	0,543	0,747	1,003
30	0,06	0,07	0,08	0,125	0,184	0,272	0,396	0,56	0,772	1,035
35	0,06	0,073	0,09	0,13	0,192	0,284	0,413	0,585	0,805	1,08
40	0,07	0,077	0,09	0,137	0,203	0,301	0,437	0,619	0,852	1,143
45	0,07	0,083	0,10	0,148	0,218	0,324	0,47	0,666	0,917	1,23
50	0,08	0,092	0,11	0,163	0,24	0,356	0,518	0,733	1,009	1,354
55	0,09	0,104	0,13	0,185	0,272	0,404	0,587	0,83	1,143	1,534
60	0,11	0,122	0,15	0,217	0,32	0,475	0,69	0,976	1,344	1,804
65	0,13	0,15	0,19	0,267	0,395	0,585	0,85	1,203	1,657	2,223
70	0,17	0,197	0,24	0,35	0,517	0,765	1,112	1,574	2,167	2,908
75	0,25	0,278	0,35	0,494	0,729	1,08	1,57	2,221	3,058	4,103
80	0,38	0,431	0,54	0,766	1,131	1,676	2,436	3,447	4,746	6,368
85	0,68	0,754	0,95	1,34	1,979	2,931	4,261	6,03	8,302	11,13
90	0,75	0,837	1,05	1,489	2,198	3,256	4,733	6,698	9,222	12,37
95	0,86	0,957	1,20	1,701	2,511	3,72	5,407	7,652	10,53	14,13
100	1,02	1,131	1,43	2,011	2,969	4,399	6,394	9,05	12,45	16,71
105	1,26	1,396	1,76	2,483	3,666	5,431	7,894	11,17	15,38	20,63
110	1,64	1,818	2,29	3,232	4,772	7,069	10,27	14,54	20,02	26,86
115	2,28	2,527	3,19	4,492	6,632	9,826	14,28	20,21	27,82	37,33
120	3,43	3,807	4,81	6,768	9,993	14,80	21,51	30,45	41,92	56,25
125	5,71	6,332	8,00	11,25	16,62	24,62	35,79	50,65	69,73	93,57
<b>Конденсаторы фторопластовые</b>										
25	0,05	0,063	0,07	0,112	0,165	0,244	0,355	0,502	0,691	0,927
30	0,05	0,063	0,08	0,112	0,165	0,245	0,356	0,504	0,694	0,931
35	0,05	0,063	0,08	0,113	0,166	0,247	0,359	0,507	0,699	0,937
40	0,05	0,064	0,08	0,114	0,168	0,249	0,362	0,512	0,704	0,945
45	0,05	0,065	0,08	0,115	0,17	0,251	0,366	0,517	0,712	0,956
50	0,05	0,066	0,08	0,117	0,172	0,255	0,371	0,525	0,722	0,969
55	0,06	0,067	0,08	0,119	0,175	0,26	0,378	0,535	0,736	0,987
60	0,06	0,068	0,08	0,122	0,18	0,266	0,387	0,548	0,754	1,011
$t$ , °C	$K_p$ при $U/U_H$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
65	0,06	0,071	0,08	0,126	0,185	0,275	0,399	0,565	0,778	1,043
70	0,06	0,073	0,09	0,131	0,193	0,286	0,415	0,588	0,809	1,086
75	0,07	0,077	0,09	0,137	0,203	0,301	0,437	0,619	0,852	1,143
80	0,07	0,083	0,10	0,147	0,217	0,321	0,467	0,66	0,909	1,22
85	0,44	0,487	0,61	0,866	1,279	1,895	2,754	3,898	5,367	7,201
90	0,44	0,49	0,61	0,87	1,285	1,904	2,767	3,917	5,392	7,235
95	0,44	0,492	0,62	0,876	1,293	1,915	2,784	3,94	5,424	7,278
100	0,44	0,496	0,62	0,882	1,303	1,93	2,805	3,97	5,465	7,333
105	0,45	0,501	0,63	0,89	1,315	1,948	2,831	4,007	5,517	7,402
110	0,45	0,507	0,64	0,901	1,33	1,971	2,865	4,055	5,582	7,49
115	0,46	0,514	0,65	0,914	1,35	2,0	2,908	4,115	5,665	7,601
120	0,47	0,524	0,66	0,931	1,375	2,037	2,961	4,191	5,77	7,742

Продолжение табл. А6.3

125	0,48	0,536	0,67	0,953	1,407	2,084	3,029	4,287	5,903	7,92
130	0,49	0,551	0,69	0,98	1,447	2,144	3,116	4,41	6,071	8,146
135	0,51	0,571	0,72	1,015	1,498	2,22	3,226	4,566	6,286	8,434
140	0,53	0,596	0,75	1,059	1,564	2,317	3,367	4,766	6,561	8,803
145	0,56	0,628	0,79	1,116	1,648	2,442	3,549	5,023	6,916	9,279
150	0,60	0,67	0,84	1,191	1,758	2,604	3,786	5,358	7,376	9,897
155	0,65	0,725	0,91	1,288	1,902	2,818	4,096	5,797	7,981	10,70
160	0,72	0,798	1,00	1,418	2,094	3,102	4,51	6,382	8,786	11,78
165	0,81	0,897	1,13	1,594	2,354	3,487	5,069	7,174	9,877	13,25
170	0,93	1,034	1,30	1,838	2,713	4,02	5,843	8,269	11,38	15,27
175	1,10	1,228	1,55	2,183	3,223	4,774	6,94	9,822	13,52	18,14
180	1,36	1,512	1,91	2,687	3,968	5,878	8,545	12,09	16,64	22,33
185	1,75	1,943	2,45	3,454	5,1	7,555	10,98	15,54	21,39	28,71
190	2,37	2,628	3,32	4,672	6,899	10,22	14,85	21,02	28,94	38,83
195	3,41	3,778	4,77	6,717	9,917	14,69	21,35	30,22	41,61	55,83
200	5,27	5,838	7,37	10,37	15,32	22,70	33,00	46,70	64,30	86,27
<b>Конденсаторы и фильтры помехоподавляющие</b>										
25	0,02	0,034	0,05	0,089	0,149	0,238	0,362	0,527	0,739	1,004
30	0,03	0,041	0,06	0,106	0,178	0,284	0,433	0,631	0,885	1,202
35	0,03	0,049	0,07	0,127	0,213	0,34	0,518	0,755	1,059	1,438
40	0,04	0,059	0,09	0,152	0,255	0,407	0,62	0,903	1,267	1,721
45	0,05	0,07	0,10	0,183	0,305	0,487	0,742	1,081	1,516	2,06
50	0,06	0,084	0,13	0,218	0,365	0,583	0,888	1,294	1,815	2,465
55	0,08	0,101	0,15	0,261	0,437	0,698	1,063	1,548	2,172	2,95
60	0,09	0,12	0,18	0,313	0,523	0,835	1,272	1,853	2,599	3,531
65	0,11	0,144	0,22	0,374	0,625	1,0	1,522	2,218	3,111	4,226
70	0,13	0,172	0,26	0,448	0,748	1,197	1,822	2,654	3,723	5,057
75	0,16	0,206	0,31	0,536	0,896	1,432	2,181	3,176	4,455	6,052
80	0,19	0,247	0,38	0,642	1,072	1,714	2,61	3,802	5,332	7,244
85	0,23	0,295	0,45	0,768	1,283	2,051	3,123	4,55	6,381	8,669
90	0,28	0,354	0,54	0,919	1,536	2,455	3,738	5,445	7,637	10,37
95	0,33	0,423	0,65	1,1	1,838	2,938	4,473	6,517	9,14	12,41
100	0,40	0,506	0,78	1,317	2,199	3,516	5,354	7,799	10,93	14,86
105	0,48	0,606	0,93	1,576	2,632	4,208	6,407	9,334	13,09	17,78
110	0,58	0,725	1,11	1,886	3,15	5,036	7,668	11,17	15,66	21,28
$t$ , °C	$K_p$ при $U/U_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
115	0,69	0,868	1,33	2,257	3,77	6,027	9,177	13,36	18,75	25,47
120	0,83	1,039	1,60	2,701	4,512	7,214	10,98	16,0	22,44	30,48
125	0,99	1,243	1,91	3,233	5,4	8,633	13,14	19,14	26,85	36,48
<b>Конденсаторы подстроенные с твердым диэлектриком</b>										
25	0,02	0,034	0,05	0,089	0,149	0,238	0,362	0,527	0,739	1,004
30	0,03	0,041	0,06	0,106	0,178	0,284	0,433	0,631	0,885	1,202
35	0,03	0,049	0,07	0,127	0,213	0,34	0,518	0,755	1,059	1,438
40	0,04	0,059	0,09	0,152	0,255	0,407	0,62	0,903	1,267	1,721
45	0,05	0,07	0,10	0,183	0,305	0,487	0,742	1,081	1,516	2,06

Окончание табл. А6.3

50	0,06	0,084	0,13	0,218	0,365	0,583	0,888	1,294	1,815	2,465
55	0,08	0,101	0,15	0,261	0,437	0,698	1,063	1,548	2,172	2,95
60	0,09	0,12	0,18	0,313	0,523	0,835	1,272	1,853	2,599	3,531
65	0,11	0,144	0,22	0,374	0,625	1,0	1,522	2,218	3,111	4,226
70	0,13	0,172	0,26	0,448	0,748	1,197	1,822	2,654	3,723	5,057
75	0,16	0,206	0,31	0,536	0,896	1,432	2,181	3,176	4,455	6,052
80	0,19	0,247	0,38	0,642	1,072	1,714	2,61	3,802	5,332	7,244
85	0,23	0,295	0,45	0,768	1,283	2,051	3,123	4,55	6,381	8,669
90	0,28	0,354	0,54	0,919	1,536	2,455	3,738	5,445	7,637	10,37
95	0,33	0,423	0,65	1,1	1,838	2,938	4,473	6,517	9,14	12,41
100	0,40	0,506	0,78	1,317	2,199	3,516	5,354	7,799	10,93	14,86
105	0,48	0,606	0,93	1,576	2,632	4,208	6,407	9,334	13,09	17,78
110	0,58	0,725	1,11	1,886	3,15	5,036	7,668	11,17	15,66	21,28
115	0,69	0,868	1,33	2,257	3,77	6,027	9,177	13,36	18,75	25,47
120	0,83	1,039	1,60	2,701	4,512	7,214	10,98	16,0	22,44	30,48
125	0,99	1,243	1,91	3,233	5,4	8,633	13,14	19,14	26,85	36,48
<b>Конденсаторы подстроенные с воздушным диэлектриком</b>										
25	0,03	0,043	0,06	0,097	0,157	0,245	0,369	0,534	0,745	1,009
30	0,04	0,05	0,07	0,113	0,182	0,285	0,429	0,621	0,866	1,173
35	0,04	0,058	0,08	0,132	0,212	0,332	0,499	0,722	1,008	1,365
40	0,05	0,067	0,09	0,153	0,246	0,386	0,58	0,839	1,172	1,587
45	0,06	0,078	0,11	0,178	0,287	0,449	0,675	0,976	1,362	1,845
50	0,07	0,091	0,13	0,207	0,333	0,522	0,785	1,135	1,584	2,145
55	0,08	0,106	0,15	0,241	0,388	0,607	0,913	1,319	1,842	2,495
60	0,10	0,123	0,17	0,28	0,451	0,705	1,061	1,534	2,142	2,901
65	0,12	0,143	0,20	0,325	0,524	0,82	1,234	1,784	2,491	3,373
70	0,14	0,166	0,23	0,378	0,609	0,954	1,435	2,075	2,896	3,922
75	0,16	0,193	0,27	0,44	0,709	1,109	1,668	2,412	3,368	4,561
80	0,18	0,225	0,32	0,512	0,824	1,29	1,94	2,805	3,916	5,303
85	0,22	0,262	0,37	0,595	0,958	1,5	2,256	3,262	4,554	6,167

Значения коэффициента  $K_t$  в зависимости от температуры окружающей среды для импульсных конденсаторов приведены в табл. А6.4

Таблица А6.4

$t, ^\circ\text{C}$	$K_t$		$t, ^\circ\text{C}$	$K_t$	
	оксидно-электролитическ	комбинированные		оксидно-электролитическ	комбинированные
25	1,01	1	80	10,86	6,34
30	1,16	1,03	85	15,04	11,09
35	1,36	1,08	90	-	12,32
40	1,6	1,14	95	-	14,08
45	1,92	1,22	10	-	16,65
50	2,34	1,35	10	-	20,55
55	2,89	1,53	11	-	26,76

Окончание табл. А6.4

60	3,63	1,79	11	-	37,19
65	4,64	2,21	12	-	56,03
70	6,04	2,89	12	-	93,2
75	8,01	4,08	-	-	-

Значения коэффициента  $K_c$  в зависимости от номинальной емкости конденсаторов представлены в табл. А6.5.

Таблица А6.5

Емкость	$K_c$	Емкость	$K_c$
Керамические $K_c=0,4 \cdot C^{0,12}$ (C-емкость, пФ)			
1	0,40	$10^4$	1,21
10	0,53	$10^5$	1,59
100	0,70	$10^6$	2,10
$10^3$	0,92	$6,8 \cdot 10^6$	2,64
Стекланные $K_c=0,4 \cdot C^{0,12}$ (C-емкость, пФ)			
2,2	0,44	$2 \cdot 10^3$	1,00
20	0,57	$2 \cdot 10^4$	1,31
200	0,76		
Слюдяные $K_c=0,4 \cdot C^{0,14}$ (C-емкость, пФ)			
50	0,69	$2 \cdot 10^4$	1,60
200	0,84	$2 \cdot 10^5$	2,21
$2 \cdot 10^3$	1,16	$10^6$	2,77
Бумажные и металобумажные $K_c=C^{0,05}$ (C - емкость, мкФ)			
0,001	0,71	10	1,12
0,01	0,79	100	1,26
0,1	0,89	200	1,3
Емкость	$K_c$	Емкость	$K_c$
1	1		
Оксидно-электролитические алюминиевые			
$< 10^3$ мкФ	1	$> 22 \cdot 10^3$	2,5
$> 10^3 < 22 \cdot 10^3$	2		
Оксидно-полупроводниковые $K_c=1$			
С органическим синтетическим диэлектриком $K_c=C^{0,05}$ (C - емкость, мкФ)			

Окончание табл. А6.5

$10^{-5}$	0,56	1	1,00
$10^{-4}$	0,63	10	1,12
$10^{-3}$	0,71	100	1,26
0,01	0,79	150	1,28
0,1	0,89		
Объемно-пористые танталовые $K_c=0,45C^{0,14}$ (C-емкость, мкФ)			
1,5	0,48	1000	1,18
10	0,62	2200	1,32
100	0,86		

Значения коэффициента  $K_{п.с}$  в зависимости от величины активного последовательного сопротивления для оксидно-полупроводниковых конденсаторов представлены в табл. А6.6.

Таблица А6.6

Номинальное напряжение,	Рабочая температура,	$U/U_n$	$K_{п.с}$ при $R/U$ , Ом/В				
			< 0,1	$\geq 0,1 <$	$\geq 1 < 2$	$\geq 2 < 3$	$\geq 3$
$\leq 6,3$	$\leq 85$	$\leq 1$	1				
		$\leq 0,7$	1				
	$> 85 \leq 100$	$> 0,7$	3,5	1,6	1,35	1,2	1
		$\leq 0,5$	1				
		$> 0,5 \leq$	2	1,4	1,2	1,1	1
$> 6,3 \leq 16$	$\leq 50$	$\leq 1$	1				
		$\leq 0,7$	1				
	$> 50 \leq 85$	$> 0,7$	2,5	1,5	1,25	1,125	1
		$\leq 0,7$	1				
		$> 0,7$	4	1,8	1,4	1,2	1
	$> 85 \leq 100$	$\leq 0,5$	1				
		$> 0,5 \leq$	4	1,8	1,4	1,2	1
$\leq 0,7$		1					
$> 100 \leq 125$	$> 0,7$	2	1,4	1,2	1,1	1	
	$\leq 0,5$	1					
	$> 0,5 \leq$	4	1,8	1,4	1,2	1	
$> 16$	$\leq 50$	$\leq 0,7$	1				
		$> 0,7$	2	1,4	1,2	1,1	1
	$> 50 \leq 85$	$\leq 0,5$	1				

Номинальное напряжение, В	Рабочая температура, °С	$U/U_n$	$K_{п.с}$ при $R/U$ , Ом/В				
			< 0,1	$\geq 0,1 <$	$\geq 1 < 2$	$\geq 2 < 3$	$\geq 3$
		$> 0,5 \leq$	2	1,4	1,2	1,1	1
		$> 0,7$	4	1,8	1,4	1,2	1
		$\leq 0,4$	1				
	$> 85 \leq 100$	$> 0,4 \leq$	4	1,8	1,4	1,2	1
		$> 0,7$	5	2	1,5	1,25	1
		$\leq 0,3$	1				
	$> 100 \leq 125$	$> 0,3 \leq$	4	1,8	1,4	1,2	1
		$> 0,7$	5	2	1,5	1,25	1
		$\leq 0,3$	1				

## А7. Эксплуатационные интенсивности отказов трансформаторов

Эксплуатационные интенсивности отказов отдельных групп трансформаторов рассчитываются по формуле:

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_T \cdot K_3,$$

где  $K_T$  - коэффициент режима (зависит от максимально допустимых температур по ТУ (классов изоляции));  $K_3$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. прил. А1).

Базовые интенсивности отказов отдельных групп трансформаторов представлены в табл. А7.1.

Таблица А7.1

Группа трансформаторов	$\lambda_6 \cdot 10^6, 1/\text{ч}$
Трансформаторы:	
питания	0,005
статических преобразователей напряжения	0,01
импульсные	0,001
согласования	0,002
электромагнитные многофункциональные	0,08

Значения коэффициента режима  $K_T$  в зависимости от максимально допустимых температур по ТУ (классов изоляции) представлены в табл.А7.2.

Таблица А7.2

$t_M, ^\circ\text{C}$ *	$K_T$ при максимально допустимых температурах по ТУ (с учетом перегрева, $^\circ\text{C}$ )				$t_M, ^\circ\text{C}$ *	$K_T$ при максимально допустимых температурах по ТУ (с учетом перегрева, $^\circ\text{C}$ )			
	70-85	95-	120-	$\geq 170$		70-85	95-	120-	$\geq 170$
25	1	1	1	1	100	-	8,46	2,89	1,56
30	1,05	1,01	1,03	1,02	105	-	13,4	3,39	1,63
35	1,15	1,03	1,06	1,04	110	-	-	4,0	1,7
40	1,25	1,08	1,1	1,07	115	-	-	4,83	1,77
45	1,45	1,13	1,17	1,09	120	-	-	5,92	1,86
50	1,7	1,2	1,22	1,12	125	-	-	7,42	1,94
55	2,05	1,3	1,28	1,15	130	-	-	9,53	2,04
60	2,7	1,45	1,33	1,18	135	-	-	11,2**	2,14
65	3,65	1,57	1,44	1,22	140	-	-	12,0**	2,27
70	5,4	1,78	1,55	1,27	145	-	-	-	2,38

					Окончание табл. А7.2				
75	8,75	2,08	1,67	1,3	150	-	-	-	2,52
80	15,99	2,52	1,82	1,35	155	-	-	-	2,68
85	33,0	3,16	2,0	1,39	160	-	-	-	2,83
90	-	4,14	2,22	1,45	165	-	-	-	3,01
95	-	5,74	2,55	1,51	170	-	-	-	3,21

Примечание:

$$* t_m = t_{окр} + t_{п}$$

где  $t_{окр}$  – температура окружающей среды;

$t_{п}$  – температура перегрева.

\*\* Для трансформаторов, рассчитанных на максимально допустимую температуру 140°C, пользоваться моделями для расчета коэффициента режима  $K_T$  рекомендуется только до температуры 130°C.

## А8. Эксплуатационные интенсивности отказов соединителей

Эксплуатационные интенсивности отказов отдельных групп соединителей вычисляется по формулам, приведенным в табл. А8.1.

Таблица А8.1

Группа соединителей	Расчетные формулы
Соединители низкочастотные	$\lambda_{э} = \lambda_{б} \cdot K_p \cdot K_{к.к} \cdot K_{к.с} \cdot K_{э}$
Соединители радиочастотные	$\lambda_{э} = \lambda_{б} \cdot K_T \cdot K_{к.к} \cdot K_{к.с} \cdot K_{э}$

$K_p$  - коэффициент режима (зависит от электрической нагрузки и температуры);

$K_{к.к}$  - коэффициент, учитывающий количество задействованных контактов;

$K_{к.с}$  - коэффициент, учитывающий количество сочленений-расчленений;

$K_T$  - коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды и материал изолятора для радиочастотных соединителей;

$K_{э}$  - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. Приложение А1).

Значения базовой интенсивности отказов ( $\lambda_{б}$ ) отдельных групп полупроводниковых приборов представлены в табл. А8.2.

Таблица А8.2

Группа соединителей	$\lambda_6 \cdot 10^6$ , 1/ч 1/ч
Соединители низкочастотные цилиндрические для объемного монтажа: <i>нормальных габаритов</i> <i>малогоабаритные</i>	0,0008 0,0007
Соединители низкочастотные прямоугольные для объемного монтажа: <i>нормальных габаритов</i> <i>малогоабаритные, субминиатюрные, микроминиатюрные,</i>	0,0008 0,019
Соединители низкочастотные прямоугольные для печатного монтажа	0,005
Соединители радиочастотные: <i>с фторопластовой изоляцией</i> <i>с полиэтиленовой изоляцией</i>	0,0021 0,015

Значения коэффициента режима  $K_p$  для различных температур перегрева контактов по ТУ для низкочастотных соединителей приведены в табл.А8.3.

Таблица А8.3

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I/I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_n = 5^\circ\text{C}$										
25	0,67	0,68	0,7	0,72	0,75	0,78	0,81	0,86	0,92	1
30	1,1	1,12	1,15	1,18	1,22	1,27	1,33	1,4	1,5	1,62
35	1,78	1,81	1,85	1,9	1,96	2,04	2,13	2,25	2,39	2,58
40	2,83	2,88	2,94	3,02	3,11	3,22	3,37	3,55	3,77	4,06
45	4,43	4,51	4,6	4,72	4,86	5,03	5,25	5,52	5,86	6,29
50	6,85	6,97	7,11	7,28	7,49	7,75	8,07	8,47	8,98	9,62
55	10,45	10,62	10,83	11,08	11,39	11,78	12,25	12,84	13,58	14,53
60	15,74	15,99	16,29	16,66	17,11	17,67	18,36	19,22	20,3	21,67
65	23,42	23,78	24,22	24,75	25,4	26,21	27,2	28,44	29,99	31,94
70	34,45	34,96	35,59	36,35	37,28	38,43	39,84	41,6	43,8	46,57
75	50,11	50,84	51,72	52,8	54,11	55,73	57,72	60,19	63,28	67,17
80	72,13	73,15	74,38	75,89	77,73	79,98	82,76	86,2	90,5	95,9
85	102,78	104,19	105,9	107,98	110,53	113,64	117,48	122,23	128,15	135,58
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I/I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_n = 10^\circ\text{C}$										
25	0,46	0,48	0,5	0,53	0,56	0,61	0,67	0,75	0,85	1
30	0,75	0,78	0,81	0,86	0,91	0,99	1,08	1,2	1,37	1,59
35	1,21	1,25	1,31	1,38	1,46	1,58	1,72	1,91	2,16	2,51

40	1,91	1,98	2,06	2,17	2,31	2,48	2,7	2,99	3,37	3,88
45	2,99	3,09	3,22	3,38	3,58	3,84	4,17	4,6	5,17	5,94
50	4,6	4,76	4,95	5,19	5,49	5,87	6,36	7	7,84	8,97
55	7	7,23	7,52	7,87	8,31	8,87	9,59	10,52	11,74	13,38
60	10,52	10,86	11,27	11,78	12,43	13,24	14,28	15,62	17,38	19,72
65	15,62	16,1	16,7	17,43	18,36	19,52	21,01	22,92	25,42	28,75
70	22,93	23,61	24,46	25,51	26,82	28,47	30,57	33,27	36,8	41,47
75	33,28	34,25	35,44	36,92	38,76	41,08	44,02	47,8	52,72	59,21
80	47,81	49,16	50,82	52,88	55,44	58,66	62,75	67,98	74,77	83,71
85	67,99	69,85	72,15	74,99	78,52	82,96	88,57	95,74	105,03	117,24
90	95,76	98,31	101,46	105,34	110,17	116,22	123,86	133,61	146,21	162,73
<b><math>t_n = 15^\circ\text{C}</math></b>										
25	0,32	0,34	0,36	0,39	0,43	0,48	0,56	0,66	0,8	1
30	0,52	0,55	0,58	0,63	0,7	0,78	0,89	1,04	1,26	1,57
35	0,83	0,88	0,93	1,01	1,11	1,23	1,4	1,64	1,96	2,44
40	1,31	1,38	1,47	1,58	1,73	1,93	2,18	2,54	3,02	3,72
45	2,04	2,15	2,28	2,46	2,68	2,97	3,35	3,87	4,59	5,62
50	3,14	3,3	3,5	3,75	4,08	4,51	5,08	5,84	6,89	8,39
55	4,76	5	5,29	5,67	6,15	6,77	7,59	8,7	10,22	12,37
60	7,14	7,48	7,91	8,45	9,14	10,04	11,23	12,81	14,98	18,03
65	10,58	11,07	11,68	12,45	13,45	14,73	16,41	18,66	21,73	26
70	15,49	16,18	17,05	18,15	19,56	21,37	23,74	26,89	31,17	37,13
75	22,44	23,41	24,64	26,18	28,14	30,67	33,97	38,36	44,29	52,49
80	32,16	33,53	35,23	37,37	40,09	43,59	48,15	54,18	62,31	73,51
85	45,65	47,53	49,88	52,83	56,57	61,36	67,59	75,82	86,87	102,03
90	64,18	66,75	69,95	73,97	79,06	85,58	94,03	105,15	120,04	140,4
95	89,4	92,89	97,22	102,66	109,53	118,3	129,66	144,57	164,47	191,58
100	123,45	128,13	133,95	141,23	150,42	162,15	177,29	197,12	223,51	259,33
<b><math>t_n = 20^\circ\text{C}</math></b>										
25	0,22	0,24	0,26	0,29	0,33	0,39	0,47	0,58	0,74	1
30	0,36	0,39	0,43	0,47	0,54	0,62	0,74	0,91	1,16	1,55
35	0,58	0,62	0,68	0,75	0,85	0,98	1,16	1,42	1,79	2,37
40	0,91	0,98	1,06	1,17	1,32	1,51	1,79	2,17	2,73	3,58
45	1,42	1,52	1,64	1,81	2,03	2,32	2,72	3,29	4,11	5,34
50	2,17	2,32	2,51	2,75	3,07	3,5	4,09	4,91	6,1	7,87
55	3,29	3,5	3,78	4,14	4,6	5,23	6,08	7,26	8,96	11,47
60	4,92	5,23	5,63	6,14	6,81	7,71	8,92	10,61	13,01	16,55
65	7,26	7,71	8,28	9,02	9,98	11,25	12,96	15,34	18,7	23,62
70	10,61	11,25	12,06	13,1	14,45	16,23	18,64	21,94	26,61	33,4
75	15,34	16,24	17,37	18,82	20,7	23,19	26,52	31,09	37,5	46,78
80	21,95	23,19	24,76	26,77	29,38	32,8	37,38	43,62	52,36	64,92
85	31,1	32,81	34,97	37,72	41,29	45,96	52,19	60,66	72,46	89,33
90	43,64	45,97	48,91	52,66	57,5	63,82	72,22	83,62	99,41	121,9

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I/I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
95	60,68	63,83	67,81	72,86	79,37	87,85	99,1	114,3	135,28	165,01
100	83,64	87,87	93,19	99,95	108,63	119,93	134,87	154,98	182,64	221,66

$t_n = 25^\circ\text{C}$										
25	0,16	0,17	0,19	0,22	0,26	0,32	0,39	0,51	0,7	1
30	0,26	0,28	0,31	0,36	0,42	0,5	0,62	0,8	1,08	1,53
35	0,41	0,45	0,5	0,56	0,65	0,78	0,96	1,23	1,65	2,31
40	0,64	0,7	0,78	0,88	1,01	1,2	1,47	1,87	2,48	3,44
45	1	1,08	1,2	1,35	1,55	1,83	2,23	2,81	3,69	5,08
50	1,52	1,65	1,82	2,04	2,34	2,75	3,33	4,17	5,43	7,4
55	2,3	2,49	2,73	3,06	3,49	4,08	4,91	6,11	7,9	10,68
60	3,43	3,7	4,06	4,52	5,14	5,99	7,17	8,86	11,38	15,24
65	5,06	5,45	5,95	6,61	7,49	8,69	10,35	12,72	16,21	21,55
70	7,37	7,93	8,64	9,57	10,8	12,47	14,79	18,07	22,88	30,18
75	10,64	11,41	12,41	13,7	15,42	17,73	20,92	25,43	32	41,89
80	15,19	16,26	17,64	19,43	21,79	24,97	29,33	35,46	44,34	57,64
85	21,47	22,95	24,84	27,29	30,51	34,83	40,74	49,01	60,93	78,66
90	30,08	32,09	34,66	37,98	42,34	48,16	56,1	67,16	83,02	106,47
95	41,75	44,46	47,92	52,39	58,24	66,03	76,6	91,28	112,22	143,02
100	57,45	61,08	65,71	71,67	79,45	89,78	103,76	123,1	150,55	190,7
105	78,4	83,23	89,36	97,25	107,52	121,13	139,47	164,75	200,48	252,46
110	106,14	112,5	120,57	130,93	144,4	162,18	186,08	218,9	265,08	331,94
115	142,59	150,91	161,46	174,96	192,49	215,57	246,5	288,81	348,11	433,55
120	190,13	200,95	214,63	232,12	254,77	284,52	324,28	378,49	454,15	562,66
125	251,73	265,69	283,32	305,82	334,9	373	423,79	492,8	588,75	725,73
$t_n = 30^\circ\text{C}$										
25	0,11	0,13	0,15	0,17	0,21	0,26	0,34	0,46	0,66	1
30	0,18	0,21	0,23	0,27	0,33	0,41	0,53	0,71	1	1,51
35	0,29	0,33	0,37	0,43	0,51	0,63	0,81	1,08	1,52	2,25
40	0,46	0,51	0,57	0,66	0,79	0,97	1,23	1,63	2,26	3,32
45	0,71	0,78	0,88	1,02	1,2	1,46	1,84	2,42	3,33	4,84
50	1,08	1,19	1,34	1,53	1,8	2,18	2,73	3,56	4,86	6,98
55	1,63	1,79	2	2,29	2,67	3,22	4,01	5,19	7,01	9,97
60	2,42	2,66	2,96	3,37	3,92	4,7	5,81	7,47	10,01	14,09
65	3,57	3,9	4,33	4,91	5,69	6,78	8,34	10,64	14,15	19,74
70	5,19	5,66	6,27	7,08	8,17	9,69	11,85	15,01	19,81	27,39
75	7,47	8,12	8,97	10,1	11,62	13,71	16,68	20,99	27,5	37,69
80	10,64	11,55	12,72	14,27	16,36	19,22	23,25	29,09	37,83	51,44
85	15,02	16,26	17,87	19,98	22,82	26,7	32,13	39,96	51,62	69,63
90	21	22,69	24,87	27,73	31,55	36,76	44,03	54,45	69,87	93,53
95	29,1	31,37	34,3	38,14	43,25	50,2	59,84	73,6	93,85	124,71
100	39,98	43,01	46,92	52,03	58,81	67,99	80,69	98,73	125,12	165,09
105	54,47	58,5	63,67	70,41	79,34	91,38	107,99	131,46	165,63	217,07
110	73,63	78,92	85,72	94,56	106,23	121,92	143,47	173,81	217,75	283,51
115	98,76	105,68	114,54	126,04	141,19	161,49	189,28	228,24	284,38	367,94
120	131,51	140,48	151,96	166,82	186,35	212,45	248,04	297,74	369,04	474,58
125	173,87	185,44	200,2	219,28	244,29	277,62	322,94	385,96	475,97	608,49
$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I/I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_n = 45^\circ\text{C}$										
25	0,05	0,05	0,07	0,08	0,11	0,15	0,22	0,34	0,56	1
30	0,07	0,09	0,1	0,13	0,17	0,23	0,33	0,51	0,83	1,46

Продолжение табл. А8.

35	0,12	0,13	0,16	0,2	0,26	0,35	0,5	0,76	1,22	2,1
40	0,18	0,21	0,25	0,31	0,4	0,53	0,75	1,11	1,76	3
45	0,27	0,32	0,38	0,47	0,59	0,79	1,1	1,62	2,53	4,24
50	0,42	0,48	0,57	0,69	0,88	1,16	1,6	2,32	3,6	5,94
55	0,62	0,71	0,84	1,02	1,28	1,68	2,3	3,31	5,06	8,25
60	0,92	1,05	1,23	1,49	1,86	2,41	3,27	4,67	7,05	11,35
65	1,34	1,53	1,79	2,15	2,66	3,43	4,61	6,52	9,74	15,49
70	1,94	2,21	2,56	3,06	3,78	4,83	6,45	9,03	13,35	20,97
75	2,78	3,14	3,64	4,33	5,31	6,74	8,93	12,39	18,14	28,17
80	3,94	4,44	5,12	6,06	7,39	9,33	12,26	16,87	24,46	37,56
85	5,53	6,21	7,13	8,4	10,19	12,79	16,7	22,79	32,72	49,73
90	7,69	8,61	9,85	11,56	13,95	17,4	22,56	30,55	43,47	65,38
95	10,6	11,84	13,5	15,76	18,93	23,49	30,25	40,65	57,34	85,4
100	14,48	16,13	18,33	21,33	25,5	31,46	40,26	53,71	75,13	110,83
105	19,64	21,82	24,71	28,64	34,08	41,83	53,21	70,49	97,8	142,95
110	26,43	29,28	33,06	38,17	45,23	55,23	69,84	91,9	126,52	183,28
115	35,29	39	43,9	50,51	59,6	72,44	91,07	119,06	162,68	233,66
120	46,79	51,58	57,9	66,38	78,02	94,38	118,02	153,31	207,97	296,23
125	61,62	67,76	75,85	86,67	101,48	122,19	151,99	196,25	264,36	373,55
<b><math>t_n = 50^\circ\text{C}</math></b>										
25	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,13	0,19	0,31	0,53	1
30	0,05	0,07	0,08	0,1	0,14	0,2	0,29	0,46	0,78	1,44
35	0,09	0,1	0,13	0,16	0,21	0,3	0,43	0,68	1,14	2,06
40	0,13	0,16	0,19	0,24	0,32	0,44	0,64	0,99	1,64	2,91
45	0,2	0,24	0,29	0,37	0,48	0,65	0,94	1,43	2,33	4,08
50	0,31	0,36	0,44	0,54	0,7	0,95	1,36	2,04	3,28	5,66
55	0,46	0,54	0,64	0,8	1,02	1,37	1,94	2,89	4,58	7,79
60	0,68	0,79	0,94	1,16	1,48	1,97	2,74	4,05	6,34	10,63
65	0,99	1,15	1,36	1,66	2,11	2,78	3,85	5,62	8,7	14,39
70	1,43	1,65	1,94	2,36	2,98	3,9	5,35	7,73	11,84	19,32
75	2,04	2,34	2,75	3,33	4,17	5,42	7,37	10,55	15,98	25,76
80	2,89	3,3	3,86	4,65	5,78	7,47	10,08	14,29	21,4	34,11
85	4,05	4,61	5,37	6,43	7,95	10,2	13,66	19,19	28,47	44,85
90	5,62	6,37	7,4	8,82	10,84	13,83	18,37	25,6	37,59	58,57
95	7,74	8,74	10,11	11,99	14,67	18,59	24,53	33,89	49,31	76,02
100	10,56	11,89	13,7	16,18	19,7	24,81	32,51	44,57	64,26	98,05
105	14,3	16,06	18,42	21,67	26,25	32,88	42,8	58,22	83,21	125,72
110	19,21	21,51	24,59	28,82	34,74	43,27	55,96	75,56	107,1	160,27
115	25,61	28,6	32,6	38,04	45,65	56,56	72,71	97,48	137,05	203,19
<b><math>t_n = 60^\circ\text{C}</math></b>										
25	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,09	0,15	0,26	0,49	1
30	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,14	0,23	0,38	0,71	1,41
35	0,05	0,06	0,08	0,1	0,14	0,21	0,33	0,56	1,01	1,98
40	0,08	0,09	0,12	0,16	0,22	0,31	0,48	0,8	1,43	2,75

$t, ^\circ\text{C}$	$K_p$ при $I/I_{\text{макс}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
45	0,12	0,14	0,18	0,23	0,32	0,46	0,7	1,14	2	3,78
50	0,18	0,21	0,26	0,34	0,46	0,66	1	1,6	2,77	5,16

Окончание табл. А8.3

55	0,26	0,31	0,39	0,5	0,67	0,95	1,41	2,24	3,81	6,99
60	0,38	0,46	0,56	0,72	0,96	1,34	1,98	3,1	5,2	9,38
65	0,56	0,66	0,81	1,03	1,36	1,88	2,74	4,25	7,03	12,51
70	0,8	0,95	1,15	1,45	1,9	2,61	3,77	5,78	9,45	16,56
75	1,14	1,34	1,62	2,03	2,64	3,6	5,15	7,8	12,59	21,78
80	1,61	1,88	2,26	2,82	3,64	4,91	6,97	10,45	16,67	28,44
85	2,24	2,61	3,13	3,87	4,97	6,66	9,36	13,9	21,91	36,91
90	3,1	3,6	4,29	5,28	6,74	8,96	12,49	18,35	28,62	47,61
95	4,25	4,92	5,84	7,14	9,06	11,96	16,53	24,07	37,13	61,05
100	5,79	6,66	7,88	9,59	12,09	15,85	21,74	31,36	47,89	77,82
<b><math>t_n = 100^\circ\text{C}</math></b>										
25	0,003	0,005	0,007	0,01	0,02	0,04	0,07	0,16	0,38	1
30	0,005	0,007	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,22	0,51	1,32
35	0,008	0,01	0,02	0,02	0,04	0,07	0,14	0,3	0,69	1,74
40	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,1	0,2	0,41	0,92	2,27
45	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,14	0,27	0,55	1,22	2,95
50	0,03	0,04	0,05	0,07	0,12	0,2	0,37	0,74	1,61	3,81
55	0,04	0,05	0,07	0,11	0,17	0,28	0,5	0,99	2,1	4,88
60	0,06	0,07	0,1	0,15	0,23	0,38	0,68	1,31	2,73	6,22
65	0,08	0,1	0,14	0,21	0,32	0,52	0,91	1,72	3,53	7,89
70	0,11	0,15	0,2	0,28	0,43	0,69	1,2	2,25	4,54	9,94
75	0,16	0,2	0,27	0,39	0,58	0,93	1,58	2,92	5,79	12,48
80	0,22	0,28	0,37	0,52	0,78	1,23	2,07	3,76	7,36	15,57
85	0,3	0,38	0,51	0,71	1,04	1,62	2,7	4,82	9,29	19,34
90	0,41	0,52	0,68	0,94	1,37	2,12	3,49	6,15	11,68	23,92
95	0,55	0,69	0,91	1,25	1,8	2,76	4,48	7,8	14,6	29,44
100	0,74	0,93	1,21	1,65	2,35	3,56	5,72	9,84	18,16	36,07

Значения коэффициента  $K_{к.к}$  в зависимости от количества задействованных контактов  $N$  для соединителей приведены в табл. А8.4.

Таблица А8.4

$N$	$K_{к.к}$	$N$	$K_{к.к}$	$N$	$K_{к.к}$
1	1,00	20	4,00	115	31,98
2	1,36	25	4,78	120	34,53
3	1,55	30	5,60	125	37,22
4	1,72	35	6,46	130	40,02
5	1,87	40	7,42	135	43,08
6	2,02	45	8,42	140	46,25
7	2,16	50	9,50	145	49,60
8	2,30	55	10,65	150	53,12
9	2,44	60	11,89	155	56,83
10	2,58	65	13,20	160	60,74
11	2,78	70	14,60	165	64,85
12	2,86	75	16,10	170	69,17
$N$	$K_{к.к}$	$N$	$K_{к.к}$	$N$	$K_{к.к}$
13	3,00	80	17,69	175	73,70
14	3,14	85	19,39	180	78,47

15	3,28	90	21,19	185	83,47
16	3,42	95	23,10	190	88,72
17	3,57	100	25,13	195	94,23
18	3,71	105	27,28	200	100,0
19	3,86	110	29,56	-	-

Примечание: Для радиочастотных соединителей значение коэффициента  $K_{к.к}$  принимается равным: для вилок и розеток - 1, для переходников-2, для тройников - 3.

Значения коэффициента  $K_{к.с}$  в зависимости от количества сочленений-расчленений  $n$  для соединителей приведены в табл. А8.5.

Таблица А8.5

$n$	14-25	50	100	150	200	250	300	400	$\geq 500$
$K_{к.с}$	0,32	0,39	0,42	0,49	0,56	0,64	0,74	0,9	1,0

Значения коэффициента  $K_T$  в зависимости от температуры окружающей среды и материала изолятора для радиочастотных соединителей приведены в табл. А8.6.

Таблица А8.6

$t, ^\circ\text{C}$	$K_T$		$t, ^\circ\text{C}$	$K_T$	
	фторопластовая изоляция	полиэтиленовая изоляция		фторопластовая изоляция	полиэтиленовая изоляция
25	1,0	1,0	90	4,12	4,23
30	1,0	1,0	95	4,63	4,87
35	1,17	1,13	100	5,14	5,51
40	1,34	1,27	110	6,46	7,18
45	1,51	1,43	120	8,04	9,49
50	1,68	1,60	130	9,92	11,9
55	1,91	1,82	140	12,39	-
60	2,14	2,04	150	15,52	-
65	2,41	2,31	160	19,52	-
70	2,68	2,59	170	24,66	-
75	3,02	2,95	180	31,36	-
80	3,36	3,31	190	40,05	-
85	3,74	3,77	200	51,68	-

Примечание: Для радиочастотных соединителей  $t_{раб.} = t + 5^\circ\text{C}$ , где  $t_{раб.}$  - рабочая температура соединителя,  $^\circ\text{C}$ .

## А9. Эксплуатационные интенсивности отказов контактных соединений

Значения интенсивности отказов контактных соединений при эксплуатации рассчитывают по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = K_{\Sigma} \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{\sigma i},$$

где  $\lambda_{\sigma i}$  – базовое значение интенсивности отказов  $i$ -го вида соединения;  $N_i$  – количество соединений одного вида;  $n$  – количество видов соединений в устройстве;  $K_{\Sigma}$  – коэффициент жесткости условий эксплуатации.

Модель распространяется на соединения, используемые во всех платах (узлах), кроме соединений (паек) в платах с металлизированными сквозными отверстиями. Все виды паяк на платах с металлизированными сквозными отверстиями учитываются в модели расчета эксплуатационной интенсивности отказов этих плат. Значения базовой интенсивности отказов различных видов соединений приведены в табл. А9.1.

Таблица А9.1

Вид соединения	$\lambda_{\sigma i} \cdot 10^8, 1/\text{ч}$
Ручная пайка ЭРИ без накрутки	0,13
Ручная пайка ЭРИ с накруткой	0,007
Пайка ЭРИ волной	0,0069
Сварка	0,0015
Обжимка (опрессовка)	0,012
Беспаяное соединение накруткой	0,00068
Скрутка	0,026

Значения коэффициента  $K_{\Sigma}$  приведены в таблицах прил. А1.

## А10. Эксплуатационные интенсивности отказов дросселей и катушек индуктивности

Значения интенсивности отказов при эксплуатации рассчитывают по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda'_{\sigma} \cdot K_p \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\text{пр}},$$

где  $K_p$  - коэффициент режима, зависящий от электрической нагрузки и температуры окружающей среды;

$K_3$  - коэффициент жесткости условий эксплуатации, его значения приведены в таблицах приложения А1;

$\lambda'_6$  - базовая интенсивность отказов; её значения для отдельных групп дросселей и катушек индуктивности приведены в табл. А10.1.

Значения базовой интенсивности отказов для отдельных групп дросселей и катушек индуктивности приведены в табл. А10.1.

Таблица А10.1

Группа изделий	$\lambda'_6 \cdot 10^6, 1/ч$
Дроссели фильтров	0,0014
Дроссели высокочастотные	0,002
Катушки индуктивности	0,02

Значения коэффициента режима  $K_p$  в зависимости от электрической нагрузки и температуры окружающей среды приведены в табл. А10.2.

Таблица А10.2

$t, ^\circ C$	$K_p$ при $I_{\text{подм.}} / I_{\text{подм.н}} (I / I_{\text{макс.}})$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25-50	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,49	0,5	0,59	1,0
55	0,54	0,54	0,54	0,56	0,59	0,62	0,67	0,73	0,96	1,57
60	0,55	0,56	0,58	0,61	0,65	0,70	0,77	0,98	1,40	2,46
65	0,67	0,68	0,72	0,77	0,83	0,92	1,13	1,57	2,39	3,79
70	0,85	0,87	0,92	1,0	1,15	1,38	1,62	2,89	3,71	5,79
75	1,2	1,26	1,35	1,53	1,79	2,2	2,84	4,45	5,71	8,78
80	1,84	1,93	2,1	2,37	2,79	3,41	4,43	6,04	8,67	13,04
85	2,86	2,97	3,13	3,71	4,38	5,36	6,81	9,07	13,04	19,37

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**  
**на курсовую работу по спецкурсу**  
**«Основы надежности электронных средств»**

студент \_\_\_\_\_ группы АСР 06-1  
 вариант задания 1 журнал Радиомир  
 исходные данные:

1. Назначение узла Стационарная ремонтируемая РЭС без резерва  
 2. Условия эксплуатации отапливаемое помещение  
 а) диапазон температур +0 С - +25 С  
 б) влажность 80 % при 20 С  
 в) вибрации 10-30 Гц a=2g  
 г) высота 2 км

3. Перечень подлежащих разработке вопросов:

а) рассчитать надежность по принципиальной электрической схеме ПУ тремя методами:

за время  $t=8ч.$ ,  $T_0=16 ч.$

б) дополнительные задания

**ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА**

1. Схема электрическая принципиальная, перечень элементов
2. Презентация

Дата выдачи задания: « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Преподаватель \_\_\_\_\_ Студент \_\_\_\_\_

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

Факультет **МПИТ**  
Кафедра **КиТРЭС**

КР-АПИД-11.03.03-(АСР18-1)-12-18

### **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к курсовой работе по дисциплине «Теоретические основы  
конструирования надежности электронных средств»

Выполнил:

Студент группы АСР 18-1

**Васечкин В.В.**

Руководитель:

**Профессор Ямпурин Н.П.**

Арзамас 2018

## Интенсивность отказов элементов

№	Тип элемента	$\lambda_i, 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$
1	Резистор постоянный	0,05
2	Резистор переменный	0,006
3	Конденсатор неполярный	0,019
4	Конденсатор полярный	0,19
5	Транзистор биполярный	0,06
6	Транзистор полевой	0,086
7	Диод выпрямительный	0,100
8	Диод импульсный	0,034
9	Стабилитрон	0,004
10	Светодиод	0,17
11	Фотодиод	0,19
12	Микросхема цифровая	0,019
13	Микросхема аналоговая	0,037
14	Пьезоэлемент	0,04
15	Трансформатор питания	0,005
16	Трансформатор согласования	0,002
17	Реле	0,052
18	Тумблер	0,16
19	Кнопки	0,11
20	Индуктивность	0,002
21	ЖКИ	0,88
22	Соединитель	0,005
23	Индикатор светодиодный	0,17
24	Батарея аккумуляторная	0,0743
25	Электродвигатель	0,58
26	Лампа накаливания	1,92
27	Лампа неоновая	0,19
28	Переключатель	0,16
29	Фотоприемник	0,19
30	Предохранитель	0,01
31	Тиристор	0,19
32	Кварцевый резонатор	0,025
33	Варистор	
34	Терморезистор	0,008
35	Варикап	0,024
36	Переключатель галетный	0,04
37	Диодный мост, диодный столб	0,19
38	Оптопара диодная	0,06
39	Оптопара транзисторная	0,15
40	Фототранзистор	0,15

**Баранова Альбина Вячеславовна**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Редактор О.В. Пугина  
Компьютерная верстка Т.А. Панькина

Подписано в печать 20.12.2018. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Тираж 50 экз. Усл. печ. л. 5,25.

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.