

Целью типового расчета “Анализ точности выходных параметров и надежности радиоэлектронных устройств” является закрепление знаний студентов по одному из основных разделов курса “Конструирование и технология РЭА”.

1. ЗАДАНИЕ НА ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

Задание на типовой расчет состоит из следующих пунктов:

1.1. Номер радиоэлектронного устройства*, выданный преподавателем;

***Примечание:** этот номер определяет конкретное РЭУ в кафедральном пособии “Альбом схем к типовому расчету”, в котором помещены принципиальная электрическая схема РЭУ, краткое описание его работы и некоторые исходные данные для расчета (функциональная связь для задаваемого выходного параметра, предельные значения случайных ошибок первичных параметров, температурные коэффициенты.);

1.2. Функциональная связь для выходного параметра РЭУ или одного из его каскадов, найденная в соответствующем разделе “Альбома схем к типовому расчету”.

1.3. Допуск на выходной параметр.

1.4. Диапазон температур окружающей среды $t_{мин} \div t_{макс}$;

1.5. Закон распределения выходного параметра;

1.6. Время эксплуатации (до 5000 часов).

Образец задания на типовой расчет дается в Приложении 3 данных методических указаний.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

В пояснительной записке к типовому расчету должны быть приведены:

2.1. расчет номинального значения выходного параметра;

2.2. расчет предельного значения случайной ошибки выходного параметра или его среднеквадратического отклонения для трех значений температуры окружающей среды $t_{мин}$, $t_{норм}$, $t_{макс}$;

1.3. расчет систематических ошибок выходного параметра и значений математического ожидания выходного параметра для $t_{мин}$ и $t_{макс}$;

1.4. расчет вероятности попадания выходного параметра в пределы заданного допуска ($P_{постеп}$) для трех значений температуры окружающей среды $t_{мин}$, $t_{норм}$, $t_{макс}$;

1.5. график $P_{постеп}(t, T^0)$ как функции температуры;

1.6. рекомендации по повышению надежности РЭУ (или одного из его каскадов) по постепенным отказам.

1.7. расчет надежности по внезапным отказам с учетом данных для λ -характеристик компонентов, которые приведены в разделе 6 и Табл. 1 - 9

Краткие указания по выполнению типового расчета и пример расчета даются в Приложении 1 и 2 данных методических указаний.

3. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ К ТИПОВОМУ РАСЧЕТУ

Пояснительная записка выполняется на стандартных листах (210×297) с полями (40 мм слева для подшивки, 20 мм – справа для замечаний преподавателя) и сшивается.

Образец титульного листа

<p>Московский Энергетический Институт (Технический Университет) Кафедра Радиоприемных устройств</p> <p>Типовой расчет по курсу "Конструирование и технология РЭА"</p> <p>"Анализ точности выходных параметров и надежности радиоэлектронных устройств"</p> <p>Студент: <i>Милотин А.С.</i> Группа: <i>Р-5-98</i> Вариант №5 Преподаватель: <i>Сидоров А.Н.</i></p> <p>Москва, 2004 год.</p>
--

После титульного листа помещается лист с заданием, подписанный преподавателем.

4. Краткие указания к выполнению расчета:

Исходными данными для данного типового расчета являются:

заданная функциональная связь $y = \varphi(x_1, \dots, x_n)$, где

y – выходной параметр РЭУ или одного из его каскадов,

(x_1, \dots, x_n) – первичные параметры,

φ - вид функциональной связи,

n – общее число первичных параметров;

4.1. предельные значения случайных (производственных) ошибок первичных параметров $\alpha x_1, \alpha x_2, \dots, \alpha x_n$;

примечание: законы распределения ошибок первичных параметров принимаются нормальными;

4.2. температурные коэффициенты первичных параметров TKx_1, \dots, TKx_n ;

4.3. диапазон температур окружающей среды $t_{\min} \div t_{\max}$;

4.4. допуск на выходной параметр $\alpha y_{\text{зад}}$;

4.5. закон распределения выходного параметра.

Эти исходные данные определены в задании на типовой расчет (1^о, 2^е, 3^е) и в "Альбоме схем к типовому расчету" (1^о, 4^е, 5^е, 6^е).

Расчет предельного значения случайной ошибки выходного параметра или его среднеквадратического отклонения производится с использованием метода числовых характеристик:

$$\alpha y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n K \alpha x_i^2} \alpha x_i^2, \quad (1)$$

где: y – выходной параметр; K_B – коэффициент влияния; x_i – первичный параметр; i – номер первичного параметра; αx_i – относительная ошибка первичного параметра; $\alpha x = \Delta x/x$.

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2}, \quad (2)$$

где $K_B(\alpha x_i \alpha y) = (\partial \varphi / \partial x_i \cdot x_i / \varphi)_m$ – коэффициент влияния относительной ошибки i -ого первичного параметра на ошибку выходного параметра (индекс m означает, что значения функции и ее частных производных вычисляются при значениях первичных параметров, равных их математическим ожиданиям).

Расчет по формуле (1) удобно использовать при нормальном законе распределения выходного параметра, по формуле (2) – при законах распределения, отличных от нормального.

Расчет по (1) или (2) формулам должен быть проведен для трех значений температуры окружающей среды t_{\min} , $t_{\text{норм}}$, t_{\max} . t_{\min} и t_{\max} определены в задании на типовую расчет, в качестве $t_{\text{норм}}$ принимается температура, равная 20 °С.

При изменении температуры окружающей среды изменяются значения первичных параметров, а в некоторых случаях и их случайных ошибок.

Изменение случайной ошибки фиксируется по виду температурного коэффициента первичного параметра, а именно, по наличию в нем случайной составляющей. Если ТКХ задан в виде $TKx = \overline{TKx} \pm TKx_{\text{случ}}$, то при изменении температуры окружающей среды результирующая случайная ошибка первичного параметра определится как

$$\alpha x_{\Sigma} = (\alpha x^2 + \alpha x_t^2)^{1/2},$$

где αx – начальная случайная ошибка (предельное значение) первичного параметра,

αx_t – температурная случайная ошибка первичного параметра.

В свою очередь αx_t рассчитывается по следующей формуле

$$\alpha x_t = TKx_{\text{случ}} \cdot \Delta t,$$

где Δt – изменение температуры окружающей среды.

Так как любые ошибки первичных параметров определяются относительно их номинальных значений, соответствующих температуре $t_{\text{норм}} = 20$ °С, то расчет αx_t проводится дважды для

$$t_{\min} \quad \text{и} \quad \Delta t_1 = t_{\min} - t_{\text{норм}} \quad \text{и}$$

$$t_{\max} \quad \text{и} \quad \Delta t_2 = t_{\max} - t_{\text{норм}}.$$

Аналогично

$$\sigma_{x\Sigma} = (\sigma_x^2 + \sigma_{xt}^2)^{1/2},$$

$$\text{где} \quad \sigma_x = (\alpha x \cdot x_{\text{ном}})/3,$$

$$\sigma_{xt} = (\alpha x_t \cdot x_{\text{ном}})/3$$

(3)

среднеквадратические отклонения случайных ошибок первичного параметра.

Температурные изменения значений первичных параметров и их ошибок приводят к соответствующему изменению αy или σ_y (как правило, эти изменения незначительны).

Расчет систематических ошибок выходного параметра производится по следующей приближенной формуле:

$$\overline{\alpha y} = \sum_{i=1}^n K_B(\alpha x_i \alpha y) \overline{\alpha x_i}$$

где $\overline{\alpha y}$ – систематическая ошибка выходного параметра, соответствующая изменению температуры Δt °,

$\overline{\alpha x_i}$ – систематическая ошибка i -ого первичного параметра, соответствующая изменению температуры Δt °,

$$\Delta t^\circ = \begin{cases} \Delta t^\circ_1 = t_{\text{МИН}} - t_{\text{НОРМ}} \\ \Delta t^\circ_2 = t_{\text{МАКС}} - t_{\text{НОРМ}} \end{cases}$$

В свою очередь $\overline{\alpha x_i}$ определяется следующим образом:

$$\overline{\alpha x_i} = \overline{TKx_i} \Delta t,$$

где $\overline{TKx_i}$ – систематическая составляющая температурного коэффициента i -ого первичного параметра.

В результате расчета систематических ошибок выходного параметра определяются два значения αy_1 и αy_2 и два новых значения математического ожидания m_{y1} и m_{y2} соответственно.

Расчет вероятности попадания выходного параметра в пределы заданного допуска, которая является количественной надежностью РЭУ по постепенным отказам, производится следующим образом:

$$P_{\text{ПОСТ}} = P(y_H < y < y_B) = \int_{y_H}^{y_B} f(y) dy, \quad (4)$$

где: $f(y)$ – плотность вероятности ошибки выходного параметра;

$$y_H = y_{\text{НОМ}} \cdot (1 - \alpha y_{\text{зад}});$$

$$y_B = y_{\text{НОМ}} \cdot (1 + \alpha y_{\text{зад}})$$

нижнее и верхнее предельное значение выходного параметра соответственно;

В аналитические выражения $f(y)$ для законов распределения, встречающихся в заданиях на типовой расчет, как правило, входят числовые характеристики m_y и σ_y . В процессе выполнения 1°, 2°, 3° пунктов (см. содержание типового расчета) становится ясным, что эти числовые характеристики в большей или меньшей степени зависят от температуры окружающей среды. Отсюда следует, что $P_{\text{ПОСТ}}$, определяемая по формуле (4), является функцией температуры. Для построения графика этой функции ее расчет производится для значений температуры $t_{\text{МИН}}$, $t_{\text{НОРМ}}$, $t_{\text{МАКС}}$.

5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА (ДЛЯ $T_{\text{НОРМ}}$)

5.1. Задание №

- 1) Усилитель низкой частоты.
- 2) Выходной параметр – коэффициент усиления K

$$y = K = (\beta \cdot R_H) / (r_{\sigma} + \beta \cdot R_{\sigma}).$$
- 3) Допуск на выходной параметр $\pm 20\%$.
- 4) Диапазон температур: $t_{\text{МИН}} = -10^\circ\text{C}$, $t_{\text{МАКС}} = 50^\circ\text{C}$.
- 5) Закон распределения выходного параметра – нормальный.

5.2. Исходные данные к расчету (для $t_{\text{НОРМ}}$)

Функциональная связь

$$y = K = (\beta \cdot R_H) / (r_{\sigma} + \beta \cdot R_{\sigma}).$$

Номинальные значения первичных параметров и их ошибки:

$$\beta = 90 \pm 0,41 \quad R_{\sigma} = 130 \text{ Ом} \pm 0,2$$

$$r_{\sigma} = 320 \text{ Ом} \pm 0,45 \quad R_H = 1 \text{ кОм} \pm 0,15.$$

Закон распределения выходного параметра – нормальный.

5.3. Расчет $K_{\text{НОМ}}$

$$K_{\text{НОМ}} = 90 \cdot 1000 / (320 + 90 \cdot 130) = 7,5.$$

5.4. Расчет αK

$$\alpha K = \sqrt{K\epsilon_{\beta}^2 \alpha \beta^2 + K\epsilon_{r_b}^2 \alpha r_b^2 + K\epsilon_{R_3}^2 \alpha R_3^2 + K\epsilon_{H_3}^2 \alpha R_H^2}$$

$$K\epsilon_{\beta} = (\partial K / \partial \beta) \cdot (\beta / K) = r_{\sigma} / (r_{\sigma} + \beta \cdot R_3) = 0,03,$$

$$K\epsilon_{r_b} = -r_{\sigma} / (r_{\sigma} + \beta \cdot R_3) = -0,03,$$

$$K\epsilon_{R_3} = -(\beta \cdot R_3) / (r_{\sigma} + \beta \cdot R_3) = -0,97,$$

$$\overline{dx_i} = 1.$$

$$\alpha K = \{(0,03 \cdot 0,41)^2 + (-0,03 \cdot 0,45)^2 + (-0,97 \cdot 0,2)^2 + (0,15)^2\}^{1/2} = 0,24.$$

5.5. Расчет $P_{\text{пост}}$ – вероятность безотказной работы по постепенным отказам.

Закон распределения выходного параметра – нормальный. Плотность распределения при этом имеет вид:

$$f(y) = f(K) = \{1 / (\sigma_K \cdot (2 \cdot \pi)^{1/2})\} \cdot \exp \{- (K - m_K)^2 / 2 \cdot \sigma_K^2 \}.$$

Числовые характеристики m_K и σ_K определяются следующим образом:

$$m_K = K_{\text{ном}}, \quad \sigma_K = (\alpha K \cdot K_{\text{ном}}) / 3. \quad (5)$$

Формула (5), как и ранее встречавшаяся формула (3), справедлива только для нормального закона распределения выходного и первичных параметров.

$$\sigma_K = 0,6.$$

Граничные значения $K_{\text{в}}$ и $K_{\text{н}}$ рассчитываются как

$$y_{\text{в}} = K_{\text{в}} = K_{\text{ном}} \cdot (1 + \alpha K_{\text{зад}}), \quad K_{\text{в}} = 9;$$

$$y_{\text{н}} = K_{\text{н}} = K_{\text{ном}} \cdot (1 - \alpha K_{\text{зад}}), \quad K_{\text{н}} = 6;$$

$$P_{\text{пост}} = \int_{K_{\text{н}}}^{K_{\text{в}}} f(K) dK = \Phi^* \{ (K_{\text{в}} - m_K) / \sigma_K \} - \Phi^* \{ (K_{\text{н}} - m_K) / \sigma_K \} = \Phi^* \{ (9 - 7,5) / 0,6 \} -$$

$$\Phi^* \{ (6 - 7,5) / 0,6 \} = 2 \cdot \Phi^* (2,5) - 1 = 0,988,$$

$\Phi^*(K)$ – нормальная функция распределения.

6. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЭУ С УЧЕТОМ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ.

Вероятность отсутствия внезапных отказов оценивается соотношением

$$P_{\text{вн}}(t) = \exp(-\lambda \cdot t),$$

где $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ - интенсивность отказов РЭУ, складывающихся из интенсивностей отказов

каждого электрорадиоэлемента (ЭРЭ) λ_i , при последовательном их включении в смысле надежности.

Значения интенсивностей отказов ЭРЭ определяются по справочным данным:

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \prod_{j=1}^m K_j,$$

где λ_{i0} – значение интенсивности отказов ЭРЭ в номинальных условиях эксплуатации,
 $K_j, j = 1+m$ – поправочные коэффициенты, позволяющие учитывать реальные режимы работы ЭРЭ.

Значения λ_{i0} приведены в таблице 1.

Таблица 1

Интенсивность отказов элементов в номинальных условиях (λ_{i0}).

Тип элемента	$\lambda_{i0}, 10^{-6} 1/\text{час}$	Тип элемента	$\lambda_{i0}, 10^{-6} 1/\text{час}$
Резисторы			
МЛГ - 0,125 ± 5 %	3,2	ОМЛГ – 0,125 ± 5 %	0,7
± 10 %	2,7	± 10 %	0,6
± 20 %	2,3	± 20 %	0,5
МЛГ – 0,25 ± 5 %	3,5	ОМЛГ – 0,25 ± 5 %	1,1
± 10 %	3,0	± 10 %	0,96
± 20 %	2,5	± 20 %	0,8
МТЭ – 0,125 ± 5 %	0,3	С2-23-0,062 ± 5 %	0,10
± 10 %	0,25	± 10 %	0,05
± 20 %	0,2	С2-23-0,125 ± 5 %	0,20
МТЭ – 0,25 ± 5 %	0,6	± 10 %	0,15
± 10 %	0,5	С1-4-0,125 ± 5 %	5,6
± 20 %	0,4	± 10 %	4,8
		С1-4-0,25 ± 5 %	7,0
		± 10 %	6,0
Конденсаторы			
К-10-17а ± 5 %	10,0	К73-3 ± 10 %	4,8
± 10 %	8,6	± 20 %	4,0
± 20 %	7,4	КМ-6 ± 5 %	10,2
МБМ ± 5 %	8,4	± 10 %	9,1
± 10 %	7,2	± 20 %	7,8
± 20 %	6,0		
Транзисторы			
КТЗ12Б	10,0	КТЗ16Б	10,0
КТЗ13Б	10,0	КТЗ68Б	10,0
КТЗ15Б	10,0	198НТ1А	40,0

Значения интенсивности отказов ЭРЭ в рабочих режимах рассчитывается следующим образом.

6.1 Интенсивность отказов транзисторов

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \cdot K_1 \cdot K_5,$$

где K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние электрической нагрузки и температуры окружающей среды.

Зависимости $K_1 (K_p, T_{\text{норм}})$ приведены на рис.1, где

$$K_p = P_{\text{действ}}/P_{\text{ном}} - \text{коэффициент нагрузки, } T_{\text{норм}} = (T - T_{\text{н}})/(T_{\text{в}} - T_{\text{н}}),$$

$P_{\text{действ}}$ – действительная рассеиваемая мощность на уоллекторе,

$P_{\text{ном}}$ – номинальная рассеиваемая мощность на уоллекторе,

$T, ^\circ\text{C}$ – температура окружающей среды,

$T_в, T_n$ – граничные значения диапазона температур, при выходе из которого происходит снижение номинальных значений параметров транзистора. Для транзисторов, используемых в данной работе, $T_в = +150 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_n = +60 \text{ }^\circ\text{C}$.

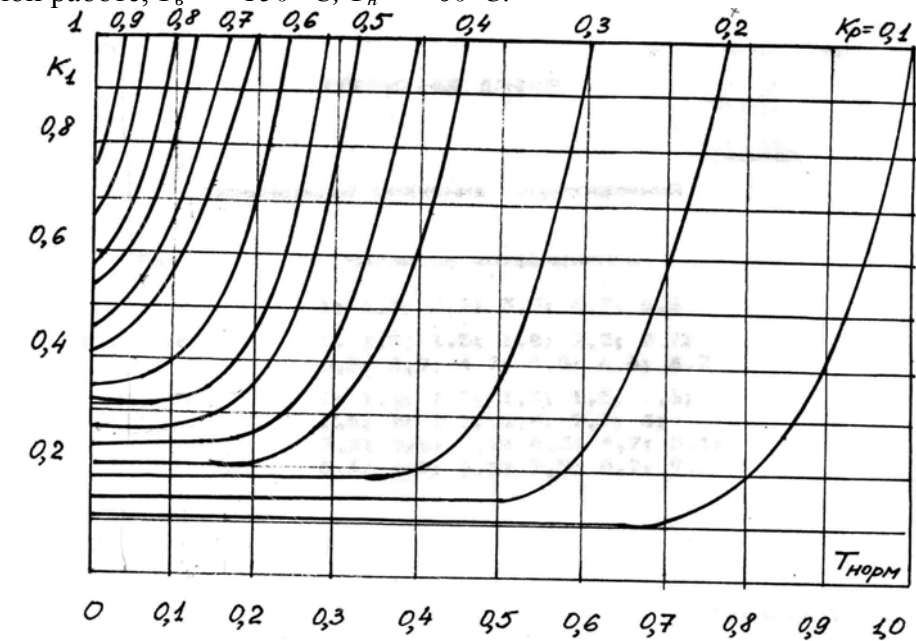


рис. 1

Значения поправочного коэффициента K_5 , учитывающего влияние условий эксплуатации, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения поправочного коэффициента K_5

	Амортизированная аппаратура		Неамортизированная аппаратура	
	влажность		влажность	
	до 70 %	выше 70 %	до 70 %	выше 70 %
K_5	1	2	3	5

6.2 Интенсивность отказов резисторов

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_5,$$

где K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние нагрузки ($K_n = P/P_{ном}$) и температуры окружающей среды T (см. рис. 2);

K_3 – поправочный коэффициент, зависящий от номинального значения сопротивления резистора (табл. 3);

K_5 - поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (см. табл. 2).

Таблица 3.

Значения поправочного коэффициента K_3 для резисторов

Номинальное значение сопротивления	до 1 кОм	1, 1 ÷ 100 кОм	110-620 кОм	более 620 кОм
K_3	0,3	0,6	1	2

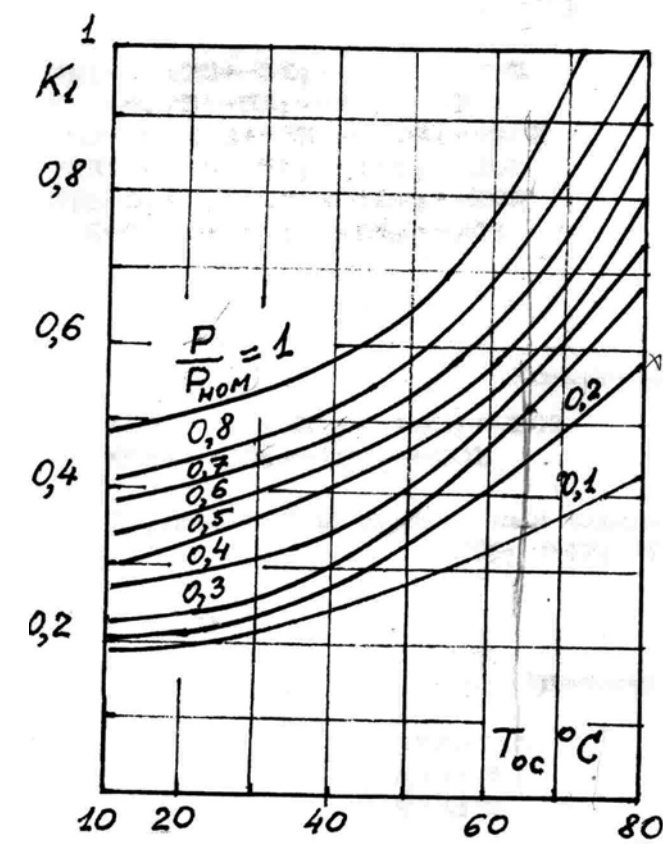


рис. 2.

6.3 Интенсивность отказов конденсаторов

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

где K_1 (K_n , T_{oc}) – см. рис. 3, $K_n = U/U_{ном}$;

K_2 – поправочный коэффициент, зависящий от величины емкости конденсатора (см. табл. 4);

K_4 – поправочный коэффициент, зависящий от номинального напряжения конденсатора (см. табл. 5);

K_5 – учитывает влияние условий эксплуатации (см. табл. 2).

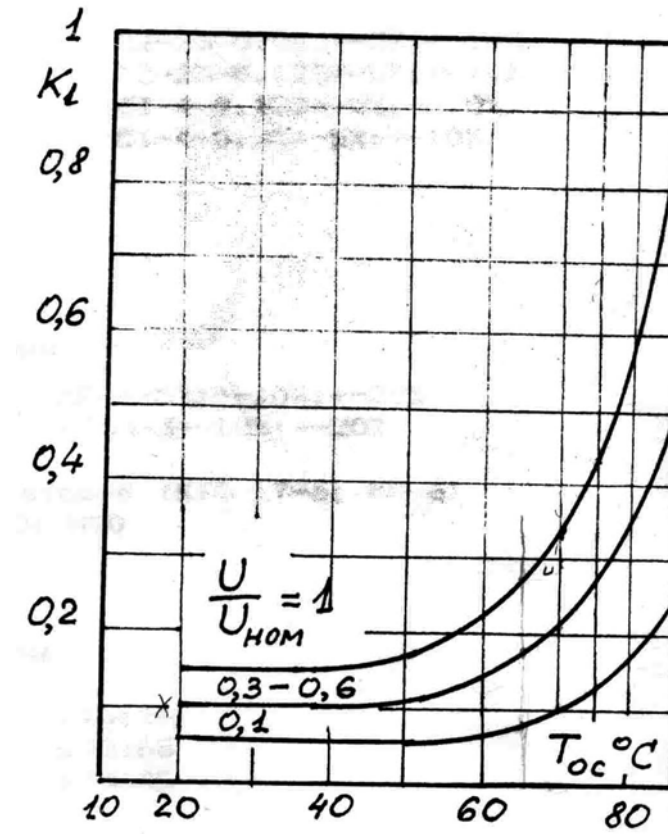


рис. 3

Таблица 4.

Значения поправочного коэффициента K_2 для конденсаторов

$C_{ном}$	до 1 мкФ	до 10 мкФ	более 10 мкФ
K_2	1	2	3

Таблица 5.

Значения поправочного коэффициента K_4 для конденсаторов (оксидно-полупроводниковых)

Номинальное напряжение, В	$U_n \leq 6,3 В$	$6,3 В < U_n \leq 16 В$	$U_n > 16 В$
K_4	1,6	1,5	1,4

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Номинальные значения сопротивлений

Таблица 6.

Ряд	Числовые коэффициенты
<i>E6</i> ($\pm 20\%$)	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
<i>E12</i> ($\pm 10\%$)	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,8; 6,8; 8,2
<i>E24</i> ($\pm 5\%$)	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

Таблица 7.

Список электрорадиоэлементов, разрешенных к применению

Резисторы	Конденсаторы	Транзисторы
МЛТ-0,125 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	К10-17-а $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	198НТ1А
МЛТ-0,25 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	КМ-6 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	КТ312Б
ОМЛТ-0,125 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	МБМ $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	КТ313Б
ОМЛТ-0,25 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	К73П-3 $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	КТ315А
МТЕ-0,125 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$	Группы ТКЕ керамических конденсаторов (К10-17-а; КМ-6) П33; М47; М750; Н90	КТ316Б
МТЕ-0,25 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$		КТ368Б
С2-23-0.062 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$		
С2-23-0.125 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$		
С1-4-0.125 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$		
С2-4-0.25 $\pm 5\%$; $\pm 10\%$		

Таблица 8.

Значения температурных коэффициентов и коэффициентов старения для электрорадио-элементов, разрешенных к применению

Тип	$TK_x, 10^{-6}, 1/\text{град}$	$K_c, 10^{-3}, 1/\text{час}$
Резисторы		
МЛТ	± 350	± 2
ОМЛТ	± 700	± 1
МТЕ	± 300	$\pm 0,5$
С2-23	± 100	$\pm 0,1$
С1-4	-700	$\pm 1,5$
Конденсаторы		
К-10-17-а	по группе ТКЕ	$\pm 3,5$
КМ-6	“ - ”	± 4
МБМ	не нормируются	$\pm 2,5$
К73П-3	“ - ”	± 5
Группа ТКЕ	ТКЕ, $10^{-6}, 1/\text{град}$	
П33	+33	
М47	-47	
М750	-750	
Н90	до -90%	

Значение функции Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$.

t	$\Phi(x)$	t	$\Phi(x)$	t	$\Phi(x)$
0.00	0.0000	1.00	0.3413	2.00	0.4772
0.05	0.0199	1.05	0.3531	2.10	0.4821
0.10	0.0398	1.10	0.3643	2.20	0.4861
0.15	0.0596	1.15	0.3746	2.30	0.4893
0.20	0.0793	1.20	0.3849	2.40	0.4918
0.25	0.0987	1.25	0.3944	2.50	0.4938
0.30	0.1179	1.30	0.4032	2.60	0.4953
0.35	0.1368	1.35	0.4115	2.70	0.4965
0.40	0.1554	1.40	0.4192	2.80	0.4974
0.45	0.1736	1.45	0.4265	2.90	0.4981
0.50	0.1915	1.50	0.4332	3.00	0.49865
0.55	0.2088	1.55	0.4395	3.10	0.49903
0.60	0.2257	1.60	0.4452	3.20	0.49931
0.65	0.2422	1.65	0.4505	3.30	0.49952
0.70	0.2580	1.70	0.4554	3.40	0.49966
0.75	0.2734	1.75	0.4599	3.50	0.49997
0.80	0.2881	1.80	0.4641	3.60	0.49984
0.85	0.3023	1.85	0.4678	3.70	0.49989
0.90	0.3159	1.90	0.4713	3.80	0.49993
0.95	0.3289	1.95	0.4744	3.90	0.49995

$$t = (x - m_x) / \sigma_x$$