


| | |
|---|---|
|  | МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ |
| | ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ «СЕРПУХОВСКИЙ КОЛЛЕДЖ» |

«РАССМОТРЕНО»
на заседании ПЦК
Протокол №____
Председатель ПЦК

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора по УМР
_____ Г.В.Вялых
« __ » _____ 202__ г.

Методические рекомендации
по выполнению конструкторского раздела ВКР
по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств

Разработчик: преподаватель Святлова И.В.

Серпухов

Аннотация.

Методические указания предназначены для выпускников ГБПОУ МО «Серпуховский колледж» специальности **11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств** для выполнения конструкторского раздела дипломного проекта, направленных на разработку и изготовление приборов и устройств, содержащих функциональные узлы, выполненные на печатных платах.

В методический указаниях изложен порядок разработки электронного устройства и содержание конструкторского раздела, рассмотрены вопросы выбора и анализа элементной базы, расчетов, определяющих конструктивные, эксплуатационные характеристики изделия.

Конструкторский раздел включает в себя:

- анализ технических требований;
- анализ существующих схем и конструкций;
- выбор и анализ электрической схемы проектируемого устройства;
- выбор и анализ элементной базы;
- компоновка и конструирование устройства;
- расчет собственной частоты конструкции;
- расчет теплового режима;
- ориентировочный расчет надежности;
- разработка конструкции печатной платы и печатного узла;

Перед началом проектирования необходимо сравнить перечень элементов, используемых в устройстве, со списком элементов, снятых с производства и не используемых на базовом предприятии (прилагается).

1 Анализ технических требований

В данном разделе производится анализ технических и эксплуатационных данных, указанных в задании на проектирование.

Наименование изделия (например: Универсальное охранное устройство)

1.1 Назначение (например: Универсальное охранное устройство предназначено для охраны автомобиля, квартиры или гаража и должно иметь встроенный источник питания)

1.2 Комплектность (например: один блок)

1.3 Технические параметры (например:

- напряжение источника питания;

- ток потребления;

- время срабатывания;

- элементная база и т. п.)

1.5 Требования к конструкции:

- габаритные размеры;

- масса;

- внешний вид должен отвечать современным требованиям к бытовой аппаратуре.

1.6 Характеристики внешних воздействий:

- температура окружающей среды °С;

- относительная влажность 80% при температуре +25 °С;

- атмосферное давление - 750 мм рт ст;

- вибрации в диапазоне частот от Гц до ... Гц ускорением G;

1.7 Все элементы управления и индикации должны быть вынесены на переднюю панель.

1.8 Среднее время наработки на отказ должно быть не менее часов.

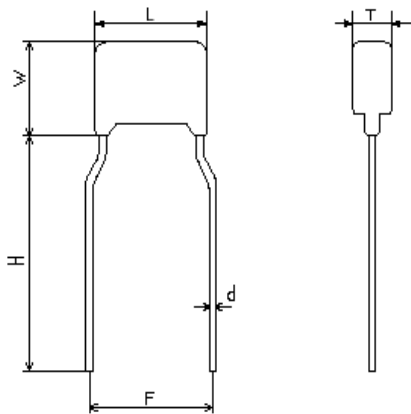
1.9 Тип производства – мелкосерийное.

Пример оформления раздела «Выбор и анализ элементной базы»

В разрабатываемой конструкции будет использоваться элементная база, эксплуатационные и конструктивные параметры которой приведены в таблице 1, внешний вид и основные электрические параметры приведены на рисунке 1.

Таблица 1 Эксплуатационные и конструктивные параметры элементной базы

| Наименование элемента | Количество | Конструктивные параметры | | | Эксплуатационные параметры | | | | |
|-----------------------------|------------|--------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|-------------|
| | | Масса, г | Установочная площадь, мм ² | Интенсивность отказов, $\lambda_0 \cdot 10^{-6} 1/ч$ | Диапазон температур, °C | Относительная влажность, % | Механические нагрузки | | |
| | | | | | | | Ускорение, g | Перегрузка, g | Частота, Гц |
| Громкоговоритель YD50-02M | 1 | 5,00 | 729,00 | 4,00 | -60..+125 | 80 | 1,5 | 2 | 1-500 |
| Конденсатор K10-176 | 20 | 0,50 | 12,50 | 1,10 | -60.. +125 | 80 | 2,5 | 2 | 10-1000 |
| Конденсатор K50-35 | 4 | 1,00 | 36,00 | 0,90 | -40.. +85 | 80 | 2,5 | 2 | 10-1000 |
| Микросхема TDA7000 | 1 | 2,00 | 178,85 | 0,01 | -10.. +55 | 80 | 2,5 | 2 | 1-500 |
| Микросхема U2822B | 1 | 2,00 | 100,00 | 0,01 | -10 ..+55 | 80 | 2,5 | 2 | 1-500 |
| Катушка индуктивности | 2 | 0,10 | 15,00 | 1,00 | -45 ..+125 | 80 | 2,5 | 2 | 1-500 |
| Резистор С2-33Н 0,125 Вт | 5 | 0,30 | 4,80 | 0,50 | -60.. +85 | 80 | 2,5 | 2 | 10-2000 |
| Резистор СПЗ-4аМ | 2 | 0,60 | 5,20 | 1,50 | -60.. +85 | 80 | 2,5 | 2 | 10-2000 |
| Варикап KB109Г | 1 | 0,40 | 10,00 | 2,00 | -60.. +100 | 80 | 2,5 | 2 | 10-600 |
| Стабилитрон BZX55C5V1 | 1 | 0,50 | 8,40 | 0,8 | -60.. +100 | 80 | 2,5 | 2 | 10-600 |
| Разъём штыревой PLS-2 | 1 | 1,5 | 12,50 | 6,1 | -60.. +100 | 80 | 2,5 | 2 | 10-600 |



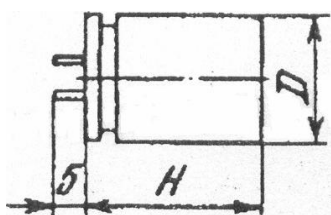
C1: $C_{\text{НОМ}} = 39\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C2: $C_{\text{НОМ}} = 1800\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C3, C13: $C_{\text{НОМ}} = 3300\text{пФ} + 50/-20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C4: $C_{\text{НОМ}} = 150\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C5, C14: $C_{\text{НОМ}} = 6,8\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C6, C12, C17, C19: $C_{\text{НОМ}} = 0,01\text{мкФ} + 50/-20\%$;
 $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C7: $C_{\text{НОМ}} = 330\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C8, C9: $C_{\text{НОМ}} = 220\text{пФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C10: $C_{\text{НОМ}} = 0,01\text{мкФ} + 50/-20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C11: $C_{\text{НОМ}} = 0,022\text{мкФ} + 50/-20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;
 C15, C16, C23: $C_{\text{НОМ}} = 0,15\text{мкФ} + 50/-20\%$;

$U_{\text{max}} = 50\text{В}$;

C20: $C_{\text{НОМ}} = 0,33\text{мкФ} \pm 20\%$; $U_{\text{max}} = 50\text{В}$;

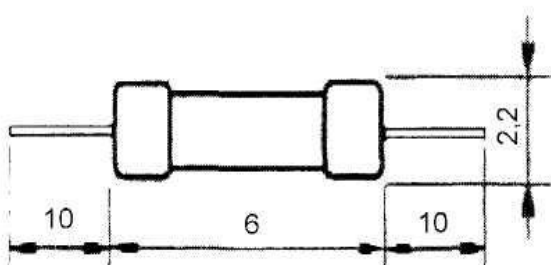
$L = 5\text{мм}$; $W = 4\text{мм}$; $H = 27\text{мм}$; $F = 5\text{мм}$; $T = 2,5\text{мм}$; $d = 0,6\text{мм}$.

Конденсатор керамический К10-17б



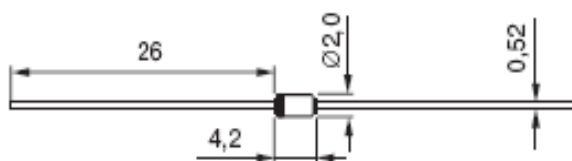
C18, C21, C22: $C_{\text{НОМ}} = 100\text{мкФ} + 50/-10\%$; $U_{\text{max}} = 16\text{В}$;
 C24: $C_{\text{НОМ}} = 220\text{мкФ} + 50/-20\%$; $U_{\text{max}} = 16\text{В}$;
 $D = 28$; $H = 48$.

Конденсатор оксидный электролитический К50-35



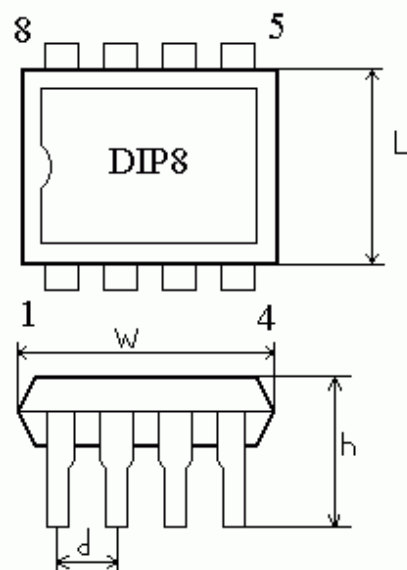
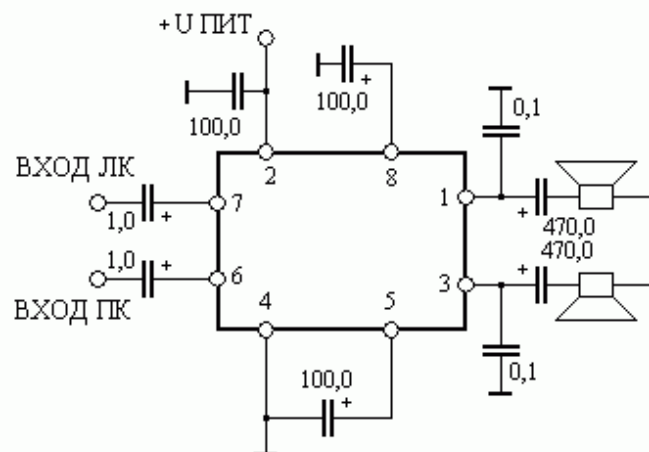
R1, R4: $R_{\text{НОМ}} = 24\text{кОм}$;
 R2, R6: $R_{\text{НОМ}} = 2,43\text{кОм}$;
 R5: $R_{\text{НОМ}} = 270\text{Ом}$;
 $P_{\text{рас}} = 0,125\text{Вт}$;
 $U_{\text{max}} = 200\text{В}$;
 $\text{ТКС} = \pm 500 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$;
 уровень собственных шумов 10мкВ/В ;

Резистор металлодиэлектрический С2-33Н



$U_{\text{ст min}} = 4,8\text{В}$;
 $U_{\text{ст max}} = 5,4\text{В}$;
 $I_{\text{ст max}} = 80\text{мА}$;
 $P_{\text{рас max}} = 0,5\text{Вт}$;
 максимальное сопротивление $r_{\text{max}} = 50\text{Ом}$.

Стабилитрон ВЗХ55С 5V1



Тип микросхемы: U2822B
 Функциональные особенности: стерео
 $U_{и.п. min}, В: 1.8$
 $U_{и.п. max}, В: 9$
 при $U_{и.п.}, В: 6$
 $R_n, Ом: 4$
 при $R_{вых.}, Вт: 0.01$
 $f_v, кГц: 18$
 $I_{пот ном}, мА: 9$
 $R_{вых.}, Вт: 0.65$
 при $R_n, Ом: 4$
 $K_r, \%, 0.05$
 $f_n, Гц: 30$
 $K_u, дБ: 62$
 Корпус: DIP8

$L = 10 \text{ мм};$
 $W = 10 \text{ мм};$
 $h = 10 \text{ мм};$
 $d = 2,5 \text{ мм}.$

Микросхема УЗЧ U2822B (Telefunken)

4 Компоновка и конструирование устройства

В этом разделе следует рассчитать ориентировочные размеры корпуса прибора, выбрать материал для его изготовления и описать внешний вид конструкции.

Рассматривая конструкцию устройства как некоторое структурное образование, выделим основные составные части, находящиеся в иерархической соподчиненности. Исходный конструктивный элемент этой иерархии - электрорадиоэлементы (ЭРЭ), которые, согласно их электрическим соединениям, размещены на печатной плате. Она представляет собой следующее звено конструктивной иерархии. Заключительным звеном конструктивной иерархии является сам прибор.

Произведем компоновочный расчет устройства:

1) определяем объем печатного узла

$$V_{пу} = H_{эрэ} \times L_{пп} \times B_{пп};$$

где $H_{эрэ}$ - высота наиболее выступающего электрорадиоэлемента конструкции, мм;

$L_{пп}$ - длина печатной платы, мм;

$B_{пп}$ - ширина печатной платы, мм.

Длина и ширина печатной платы может быть рассчитана следующим образом:

$$S_{пп} = K_z * \Sigma S_{эрэ}$$

где K_z - коэффициент запаса, зависящий от класса точности печатной платы (для 1 класса $K_z = 4 \dots 5$, для 2 класса – $3 \dots 4$),

$\Sigma S_{эрэ}$ - площадь всех элементов, устанавливаемых на печатную плату.

Далее подбирают соотношения сторон печатной платы, используя ГОСТ 10317-79 (смотри приложение).

Если в приборе нет элементов, располагающихся вне печатной платы, то длина и ширина корпуса будет определяться только размерами печатного узла, если часть элементов располагается вне изоляционного основания, например, индикатор, батарейный отсек, то их размеры должны быть учтены при расчете длины, ширины и высоты корпуса.

2) длина корпуса прибора определяется по формуле:

$$L = L_{пп} + X_1 + X_2 ,$$

где L - длина корпуса прибора, мм;

$L_{пп}$ - длина печатной платы, мм;

X_1, X_2 - припуски размеров для обеспечения свободной входимости платы в корпус, например $X_1 = X_2 = 3$ мм.

3) высота корпуса прибора определяется по формуле:

$$H = H_{пп} + Z_1 + Z_2$$

где H - высота корпуса прибора, мм;

$H_{пп}$ - высота печатного узла, мм;

Z_1, Z_2 - припуски размеров для обеспечения свободной входимости платы в прибор, например $Z_1 = 6$ мм; $Z_2 = 7$ мм.

4) ширина корпуса прибора определяется по формуле:

$$B = B_{пп} + Y_1 + Y_2$$

где B - ширина корпуса прибора, мм;

$B_{пп}$ - ширина платы, мм;

Y_1, Y_2 - припуски размеров для обеспечения свободной входимости платы в прибор, например $Y_1 = Y_2 = 8$ мм

Толщина стенок корпуса равна $h_k = 2 \dots 3$ мм.

Тогда внешние размеры корпуса прибора будут равны:

- длина $L_k = L + 2h_k$

- ширина $B_k = B + 2h_k$

- высота $H_k = H + 2h_k$

5) масса конструкции прибора определяется по формуле :

$$m = m_{\text{пу}} + m_{\text{к}} + m_{\text{доп}}$$

где: m - масса конструкции прибора, кг;

$m_{\text{пу}}$ - масса печатного узла, кг;

$m_{\text{к}}$ - масса корпуса прибора, кг;

$m_{\text{доп}}$ - масса дополнительных элементов, кг.

Масса печатного узла $m_{\text{пу}}$ определяется по формуле:

$$m_{\text{пу}} = m_{\text{пп}} + m_{\text{эрэ}} + m_{\text{материалов}}$$

где $m_{\text{пп}}$ - масса печатной платы ($m_{\text{пп}} = L_{\text{пп}} \times B_{\text{пп}} \times h_{\text{пп}} \times \rho_{\text{сф}}$; плотность фольгированного стеклотекстолита составляет 2050 кг/м^3).

$m_{\text{эрэ}}$ - масса электрорадиоэлементов, устанавливаемых на печатную плату;

$m_{\text{материалов}}$ - масса материалов, необходимых для изготовления печатного узла (припой, лак, краска, эмаль и т.п.).

Масса корпуса определяется по формуле:

$$m_{\text{к}} = [2L_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} + 2L_{\text{к}} \cdot B_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} + 2B_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}}] \cdot \rho_{\text{к}},$$

где $L_{\text{к}}$, $B_{\text{к}}$, $H_{\text{к}}$ - длина, ширина, высота корпуса, м;

$h_{\text{к}}$ - толщина корпуса, м;

$\rho_{\text{к}}$ - плотность материала корпуса.

В качестве материала корпуса можно выбрать пластмассу марки АБС, обладающей плотностью $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$.

$m_{\text{доп}}$ - масса дополнительных элементов - тех элементов, которые не устанавливаются на изоляционное основание (индикатор, батарейный отсек и т.п.).

После приведенных расчетов необходимо описать расположение элементов индикации, управления, и т.д., расположенных на корпусе прибора.

5 Расчет собственной частоты конструкции

Для расчета собственной частоты конструкции, в зависимости от условий эксплуатации РЭА, необходимо задаться характеристиками внешних воздействий, приведенных в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики внешних воздействий

| <i>Группа РЭА</i> | Окруж. темпер., °K Tmin... Tmax | Относительная влажн. % при 298 °K | Длительность удара, ти, мс | Ударное ускорение, а, м/с | Частота удара ν, 1/мин. | Диапазон частот вибрации, fn...fv, Гц | Виброускорения, а, м/с² | Лин. ускорения, м/с². | Пониж. атм. давление Н, кПа |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|--|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Стационарная РЭА, работающая в отапливаемых помещениях (1 группа) | 233...328 | 80 | - | - | - | 10...30 | 19,6 | - | 61 |
| Стационарная РЭА, работающая на открытом воздухе (2 группа) | 233...333 | 93 | - | - | - | 10...30 | 19,6 | - | 61 |
| Возимая РЭА на транспорте (3 и 5 группа): | | | | | | | | | |
| - автомобильный | 233...333 | 93 | 3...10 | 147 | 40..80 | 4..80 | 78,5 | 3,12 | 61 |
| - железнодорожный | 233...333 | 93 | 3...10 | 392 | 40..80 | 2...100 | 19,6 | 3,12 | 61 |
| Судовая РЭА (4 группа) | 233...333 | 93 | 5..10 | 147 | 40..80 | 4..150 | 58,9 | - | - |
| Носимая и портативная РЭА, работающая на открытом воздухе (6 группа) | 233...333 | 93 | 5..10 | 98 | 40..80 | 10..70 | 37 | - | 61 |
| Носимая и портативная РЭА, работающая в отапливаемом помещении (7 группа) | 233...328 | 80 | 5..10 | 98 | 40..80 | 10..30 | 10,7 | - | 61 |
| Самолетная РЭА, работающая в штатных условиях | 233...328 | 93..100 | 15 | 117,7 | - | 5..2000 | 0,98..196 | | 2 |
| Ракетная РЭА | 233...333 | 98 | 5..10 | 736 | - | 10..70 | 19,6..34,3 | | 2 |
| Космическая РЭА | 233...328 | - | - | - | - | 1,5..2500 | 4,9..58,9 | | - 0 |

- определяем частоту собственных колебаний равномерно нагруженной пластины по формуле:

$$F_0 = [1/2\pi] \cdot (K_a/L_1^2) \cdot \sqrt{[(D/M) \cdot L_1 \cdot L_2]},$$

где $\pi=3,14$;

K_a – коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон платы;

L_1, L_2 – длина и ширина печатной платы;

D – цилиндрическая жесткость;

M – масса печатного узла.

Коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон платы, рассчитывается по формуле:

$$K_a = k \cdot \sqrt{(\alpha + \beta \cdot L_1^2 / L_2^2 + \gamma \cdot L_1 / L_2)},$$

где k, α, β, γ – коэффициенты, соответствующие заданному способу закрепления сторон печатной платы (приведены в таблице 3).

Таблица 3

| Способ закрепления сторон платы | k | α | β | γ |
|--|-------|----------|---------|----------|
| Крепление винтами с четырех сторон | 9,87 | 1 | 2,00 | 1,00 |
| Крепление с помощью направляющих по длинным сторонам платы | 9,87 | 1 | 2,57 | 5,14 |
| Крепление с помощью направляющих по коротким сторонам платы | 22,37 | 1 | 0,48 | 0,19 |
| Крепление за одну короткую сторону | 15,42 | 1 | 0,00 | 0,00 |
| Крепление за одну длинную сторону | 22,37 | 0 | 0,10 | 1,00 |
| Крепление винтами и защемление краев платы разъемом и передней панелью | 22,37 | 1,00 | 0,48 | 0,19 |

$$D = E \cdot h^3 / 12(1 - \nu^2),$$

где h – толщина платы, м ;

E – модуль упругости для материала платы;

ν – коэффициент Пуассона.

Значения E и ν зависят материала и приведены в таблице 4.

Таблица 4

| Материал | Модуль упругости материала $E \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ | Коэффициент Пуассона, ν | Плотность $\rho \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Стеклотекстолит с печатной схемой | 3,02 | 0,22 | 2,05 |
| Сталь | 22 | 0,3 | 7,8 |
| Алюминий | 7,3 | 0,3 | 2,7 |

По результатам расчета необходимо сделать вывод о механической прочности конструкции.

6 Расчёт теплового режима

В данном подразделе производится расчет температуры нагрева элементов работающего устройства и сравнение с диапазоном рабочих температур элементной базы.

Для расчёта теплового режима проектируемого устройства удобно воспользоваться коэффициентным методом расчёта. Его суть заключается в том, что искомую температуру перегрева корпуса и печатного узла (нагретой зоны) можно представить в виде произведения:

$$\Delta t = \Delta t_p \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$$

где Δt - искомое среднеповерхностная температура перегрева, °С;

Δt_p - базовый перегрев, определяемый мощностью, приходящейся на единицу поверхности;

k_1, k_2, \dots, k_n - коэффициенты, учитывающие различные факторы, влияющие на условия теплообмена, причём каждый коэффициент зависит только от одного параметра.

Исходными данными для расчёта являются:

-размеры корпуса прибора

$$(L1 * L2 * h) \text{ мм}$$

-объём всех деталей, оснований печатных узлов, шасси и т.п.;

-мощность, рассеиваемая внутри корпуса;

-максимально возможная температура окружающей среды;

-относительная степень черноты поверхности ($\varepsilon_{\text{п}} = 0.7 - 0.8$);

-атмосферное давление - 750 мм рт. ст..

Считаем, что ориентация нагретой зоны горизонтальная.

Целью расчёта является определение среднеповерхностной температуры корпуса и печатного узла, который в данном разделе будем называть нагретой зоной.

Порядок расчёта.

-определяем объём корпуса прибора:

$$V_{\text{пр}} = L1 * L2 * H$$

где $L1$ - ширина корпуса, м;

$L2$ - длина корпуса, м;

H - высота корпуса, м;

-определяем коэффициент заполнения объёма:

$$K_3 = V_{\text{д}} / V_{\text{пр}},$$

где $V_{\text{д}}$ - объём всех деталей прибора;

-рассчитываем приведённый размер основания нагретой зоны:

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{L1 * L2} \text{ (м)}$$

-рассчитываем приведённую высоту нагретой зоны:

$$h_3 = H * K_3 \text{ (м)}$$

-определяем приведённую высоту воздушного зазора между нагретой зоной и корпусом:

$$h_1 = (H - h_3) / 2 \text{ (м)}$$

-определяем геометрический фактор:

$$K_{\Gamma} = h_1 / l_{\text{пр}}$$

-рассчитываем площадь поверхности корпуса прибора:

$$S_k = 2(L_1 * L_2 + L_1 * H + L_2 * H) \quad (\text{м}^2)$$

-рассчитываем приведённую поверхность нагретой зоны:

$$S_3 = 2l_{\text{пр}}(l_{\text{пр}} + 2h_3) \quad (\text{м}^2)$$

Для последующих расчетов определяем потребляемую мощность.

$$P_{\text{потр.}} = U_{\text{пит.}} * I_{\text{потр.,}}$$

$I_{\text{потр.}}$, если он не указан в описании работы схемы, то его можно рассчитать, пользуясь анализом элементной базы, определив для основных элементов схемы (ИМС, транзисторов) максимально допустимый ток.

Рассеиваемую внутри корпуса мощность P_p принимаем равной $P_{\text{потр}}$

-рассчитываем удельную поверхностную мощность корпуса по формуле:

$$P_{\text{удк}} = P_p / S_k \quad (\text{Вт/м}^2)$$

-рассчитываем удельную поверхностную мощность нагретой зоны по формуле:

$$P_{\text{удз}} = P_p / S_3 \quad (\text{Вт/м}^2)$$

Для определения среднеповерхностной температуры корпуса прибора

$$t_k = t_{\text{окр}} + \Delta t_k$$

необходимо рассчитать Δt_k – среднеповерхностный перегрев корпуса.

$$\Delta t_k = \Delta t_p * k_s * k_t * k_{\text{еп}} * k_n \quad (1)$$

Коэффициенты, входящие в формулу (1) определяются по графикам, приведённым на рисунке 2.

Для расчёта среднеповерхностной температуры нагретой зоны

$$t_3 = t_k + \Delta t_3$$

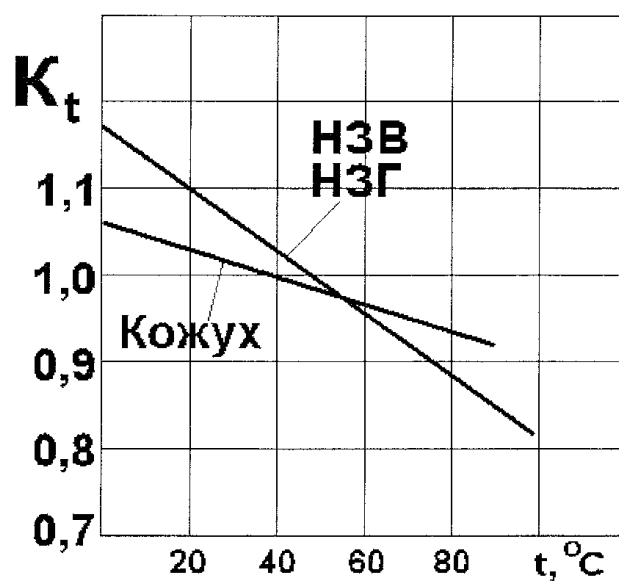
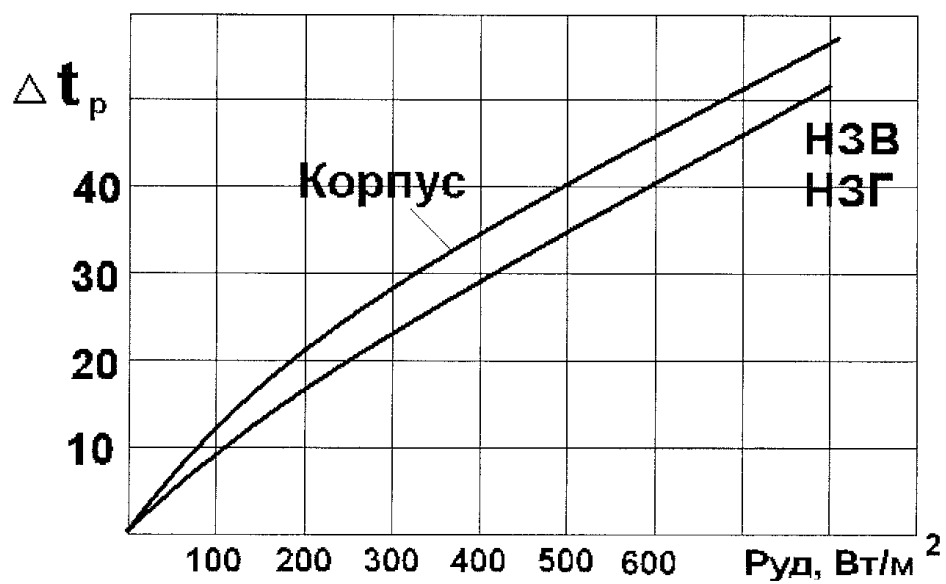
необходимо рассчитать Δt_3 по формуле

$$\Delta t_3 = \Delta t_{p3} * k_{1пр} * k_{k3} * k_{г} * k_{\varepsilon п} * k_{tk} * k_n \quad (2)$$

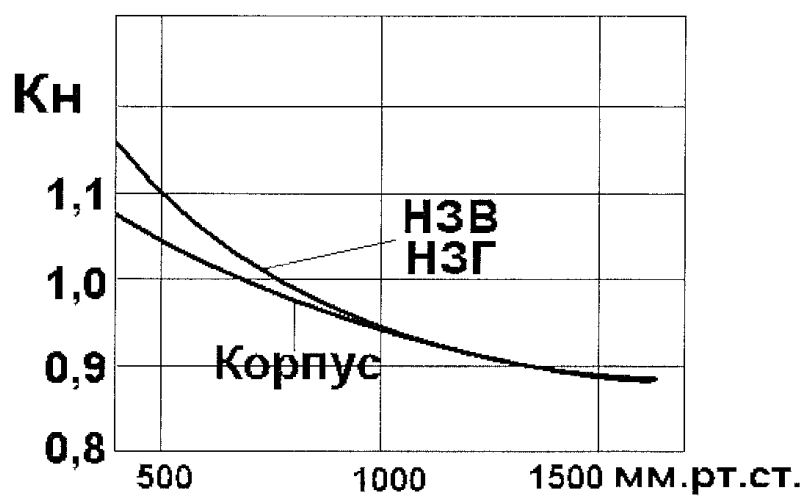
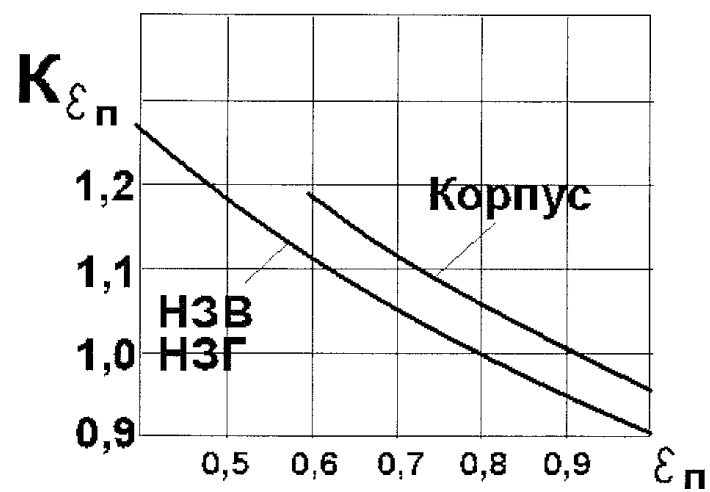
Коэффициенты, входящие в формулу (2) определяются по графикам, приведённым на рисунке 2.

Рассчитав температуру нагретой зоны необходимо сделать вывод о правильности выбора элементной базы, сравнив диапазон рабочих температур, при которых допускается эксплуатация элементов, с температурой их нагрева при работе устройства.

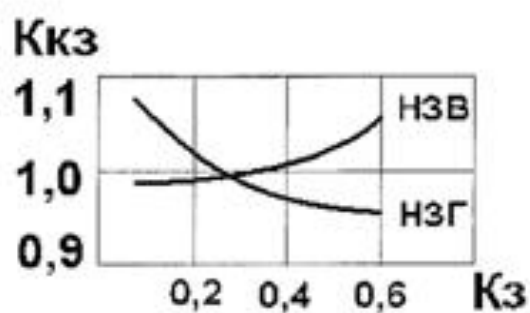
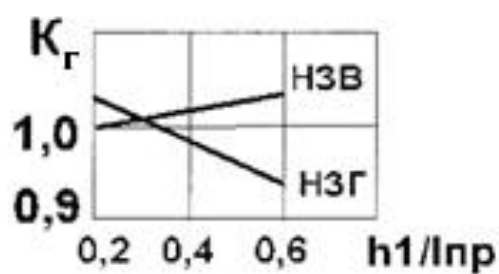
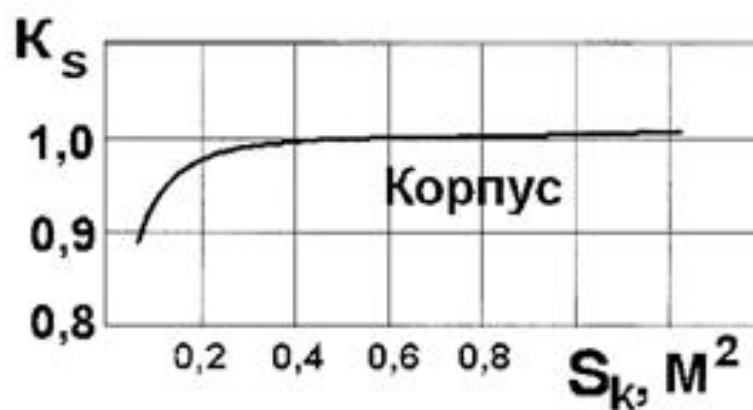
В том случае, если температура нагрева превышает допустимую температуру, необходимо выбрать элементы с более широким диапазоном рабочих температур.



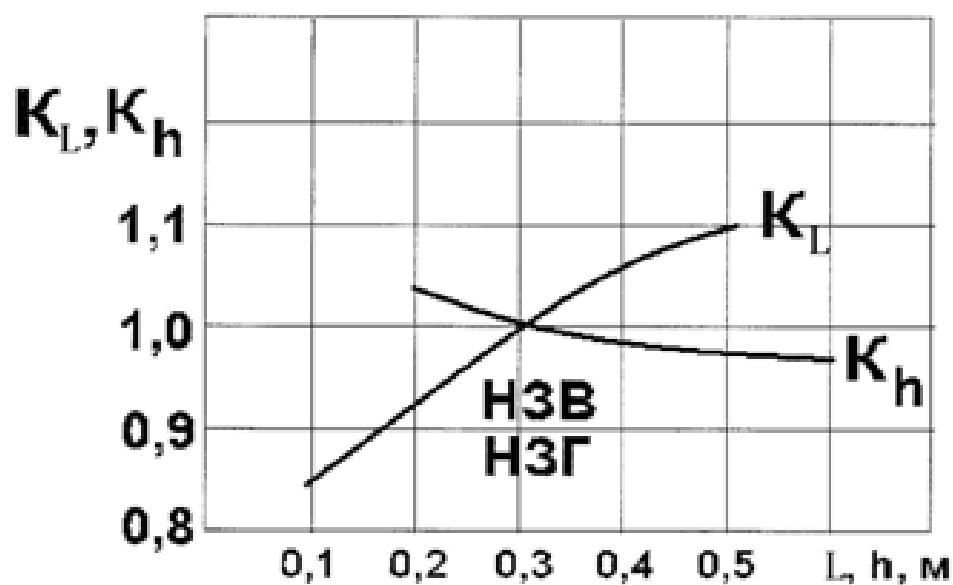
Определение коэффициентов, зависящих от удельной поверхностной мощности (корпуса и нагретой зоны) и температуры окружающей среды



Определение коэффициентов, зависящих от степени черноты поверхности и атмосферного давления



Определение коэффициентов, зависящих от площади корпуса прибора, геометрического фактора и коэффициента заполнения объема.



Определение коэффициентов, зависящих от длины и высоты корпуса прибора

Пояснения ко всем графикам:

НЗГ – нагретая зона с горизонтальной ориентацией;

НЗВ – нагретая зона с вертикальной ориентацией.

Рисунок 2 Графики для расчёта средней температуры корпуса и нагретой зоны коэффициентным методом

7 Ориентировочный расчёт надёжности

Надёжность - физическое свойство прибора, зависящее от количества и качества входящих в него элементов, температуры окружающей среды, температуры нагрева элементов, электрических и механических нагрузок и т.д.

Надёжность устройства характеризуется качественными и количественными показателями. Для расчёта количественных показателей: интенсивности отказов устройства, среднего времени наработки на отказ, вероятности безотказной работы наиболее часто используется метод расчёта по среднегрупповым интенсивностям отказов. Его сущность заключается в следующем:

- по перечню элементов к схеме электрической принципиальной определяем группы однотипных элементов;
- подсчитываем их количество в каждой группе;
- определяем интенсивность отказов элементов λ_0 по справочнику (некоторые значения λ_0 приведены в таблице 9)

Для учёта реальных условий, в которых работают элементы, необходимо задаться коэффициентами влияния α :

где – α_1 учитывает условия эксплуатации:

| | |
|--|------------------------------------|
| <u>лаборатории, отапливаемые помещения</u> | <u>$\alpha_1 = 1$</u> |
| <u>наземные не отапливаемые помещения, открытый воздух</u> | <u>$\alpha_1 = 10$</u> |
| <u>водный транспорт,буи</u> | <u>$\alpha_1 = 30$</u> |
| <u>самолёты, вертолёты</u> | <u>$\alpha_1 = 100$</u> |

α_2 - коэффициент, зависящий от температуры элемента и его электрических нагрузок (α_3 или K_n). Выбирается по справочнику или по таблицам, приведённым в данном пособии. Температура нагрева элементов определена при расчёте теплового режима. Если таблица в методическом пособии на соответствующий элемент отсутствует, то принимается $\alpha_2 = 1$.

α_3 - коэффициент электрических нагрузок (K_n). При ориентировочном расчёте надёжности он выбирается в пределах от 0,5...0,8.

Как рекомендуемые можно предложить для :

- полупроводниковых приборов и ИМС – 0,8
- конденсаторов (кроме оксидных и пленочных) – 0,5
- конденсаторов оксидных и пленочных – 0,8
- резисторов – 0,6
- катушек индуктивности, трансформаторов, реле – 0,5
- коммутационных и соединительных изделий – 0,6
- элементов индикации – 0,6
- предохранителей – 0,7
- пайки – 0,8

Для удобства расчёта составляется таблица 6

Таблица 6 Расчет интенсивности отказов

| Наименование элементов | Кол. элементов в группе | $\lambda_0 \cdot 10^{-6},$ 1/ч | α_1 | α_2 | α_3 | $\lambda_{гр} \cdot 10^{-6},$ 1/ч |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|--------------------------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

- рассчитываем среднегрупповую интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda_{гр} = n * \lambda_0 * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3$$

и результат заносим в последний столбец таблицы 6

- определяем общую интенсивность отказов, для чего суммируем последний столбец таблицы 7

$$\Lambda = (\lambda_{гр1} + \lambda_{гр2} + \dots) * 10^{-6}, 1/ч$$

- определяем среднее время наработки на отказ

$$T_{\text{ср}} = 1 / \Lambda$$

- рассчитываем зависимость вероятности безотказной работы от времени

$$P(t) = e^{-\Lambda \cdot t}$$

Результаты заносим в таблицу 7

Таблица 7 Зависимость вероятности безотказной работы от времени

| t , ч | 0 | 10 ⁰ | 10 ¹ | 10 ² | 10 ³ | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ⁶ |
|-------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P(t) | 1 | | | | | | | |

По результатам расчетов строим график зависимости вероятности безотказной работы от времени

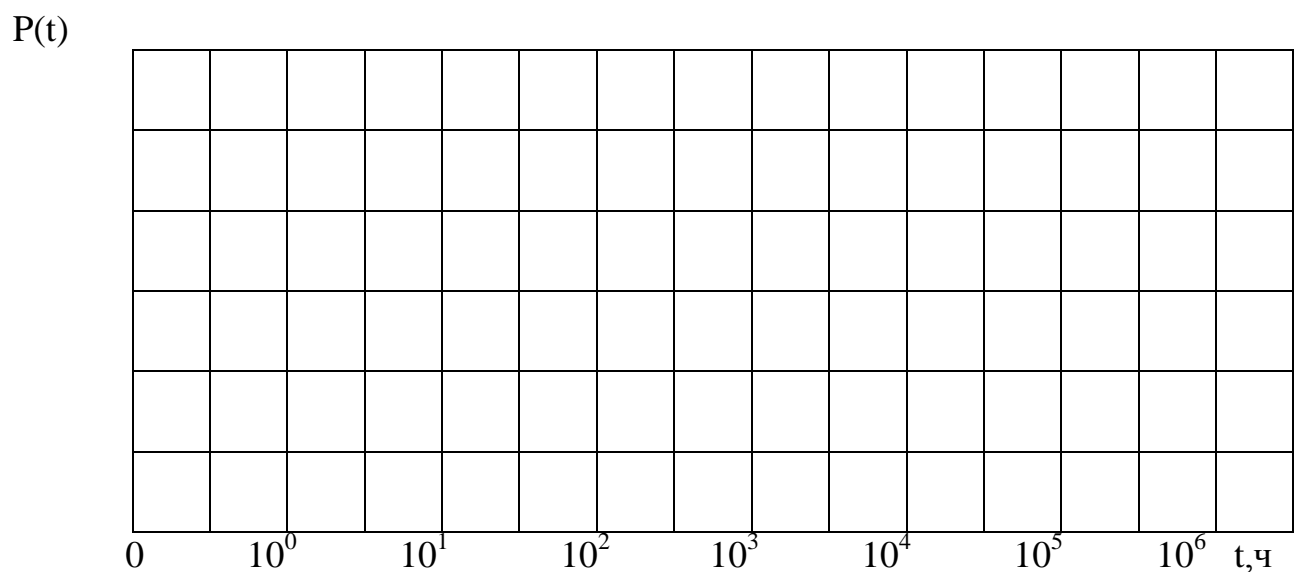


Рисунок 3 Зависимость вероятности безотказной работы от времени

По результатам расчетов показателей надежности необходимо сделать вывод. Например: В задании на проектирование вероятность безотказной работы за 1000 часов должна быть не менее 0,91. Из расчета надежности следует, что проектируемое устройство имеет вероятность безотказной работы за 1000 часов 0,94 , следовательно, устройство удовлетворяет требованиям задания.

Наименование элементов

$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, 1/ч

Резисторы

| | |
|--|-----|
| - металлоплёночные, металлоокисные, металлодиэлектрические | 0,5 |
| - плёночные углеродистые | 0,8 |
| - плёночные композиционные | 0,4 |
| - объёмные композиционные | 2,1 |
| - проволочные постоянные | 1,5 |
| - проволочные переменные | 3,3 |
| - непроволочные переменные | 1,5 |
| - терморезисторы | 3,0 |
| - варисторы | 3,2 |

Конденсаторы

| | |
|---|------|
| - бумажные и металлобумажные | 0,94 |
| - электролитические | 0,9 |
| - плёночные, металлоплёночные комбинированные | 1,2 |
| - стеклянные, стеклоэмалевые | 1,6 |
| - слюдяные | 1,1 |
| - керамические | 1,1 |
| - воздушные переменные | 1,9 |
| - керамические подстроечные | 1,8 |

Диоды

| | |
|------------------------------|------|
| - германиевые выпрямительные | 1,5 |
| - кремниевые выпрямительные | 2,0 |
| - импульсные | 1,6 |
| - варикапы | 2,0 |
| - свч | 20,0 |
| - туннельные, обращённые | 2,4 |
| - фотодиоды | 6,0 |
| - стабилитроны | 0,8 |
| - светодиоды | 1,6 |
| - индикаторы символьные | 3,5 |

Транзисторы

| | |
|-------------------------|-----|
| -германиевые маломощные | 1,3 |
| средней мощности | 2,9 |
| мощные | 3,6 |
| -кремниевые маломощные | 1,0 |
| средней мощности | 3,0 |
| мощные | 4,0 |

Тиристоры

1,3

Оптроны

2,1

| | |
|------------------------------|------|
| Электровакуумные приборы | |
| -диоды | 8,9 |
| -триоды | 6,8 |
| -пентоды | 8,0 |
| -ЭЛТ | 60,0 |
| -индикаторы газонаполненные | 21,1 |
| реле электромагнитные | 7,0 |
| трансформаторы | |
| -силовые ТА | 6,5 |
| ТАН | 8,7 |
| ТНВС | 16,5 |
| ТН | 9,8 |
| -согласующие | 5,5 |
| -импульсные | 4,0 |
| -высокочастотные | 8,0 |
| -низкочастотные | 1,3 |
| Дроссели НЧ | 4,3 |
| ВЧ | 2,0 |
| Катушки индуктивности | 1,0 |
| Разъёмы прямоугольные НЧ | 6,1 |
| Разъёмы ВЧ | 0,4 |
| Коммутационные изделия | |
| - галетные переключатели | 2,0 |
| - тумблеры | 3,0 |
| - кнопочные выключатели | 2,0 |
| - микропереключатели (МП) | 4,0 |
| Элементы монтажа | |
| - пайка печатного монтажа | 0,01 |
| - пайка навесного монтажа | 0,03 |
| Электроизмерительные приборы | 7,0 |
| Кварцевые резонаторы | 16,0 |
| Изоляторы | 0,4 |
| Патроны, фонари | 4,0 |
| Панели для ИМС | 0,4 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Предохранители | 0,5 |
| ИМС | 0,01 |
| Гнезда, штыри | 0,01 |
| Клеммы, зажимы | 0,0005 |
| Провода соединительные | 0,0015 |
| Батареи | 1,4 |
| Плата печатная | 0,7 |
| Антенны | 0,36 |
| Микрофоны | 20,0 |
| Громкоговорители, динамические | 4,0 |
| Кабели | 0,5 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
металлоплёночных и металлоокисных резисторов.

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | | |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | <0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,1 | 0,15 | 0,20 | 0,26 | 0,35 | 0,42 | 0,50 | 0,60 | 0,72 | 0,84 | 1,00 |
| 30 | 0,1 | 0,21 | 0,27 | 0,34 | 0,43 | 0,51 | 0,62 | 0,75 | 0,88 | 1,07 | 1,26 |
| 40 | 0,1 | 0,27 | 0,33 | 0,42 | 0,51 | 0,60 | 0,76 | 0,94 | 1,11 | 1,38 | 1,71 |
| 50 | 0,1 | 0,34 | 0,40 | 0,50 | 0,59 | 0,71 | 0,92 | 1,17 | 1,38 | 1,76 | 2,22 |
| 60 | 0,1 | 0,40 | 0,47 | 0,57 | 0,67 | 0,82 | 1,08 | 1,43 | 1,70 | 2,17 | 3,52 |
| 70 | 0,1 | 0,46 | 0,54 | 0,64 | 0,75 | 0,94 | 1,26 | 1,72 | 2,04 | 2,69 | 3,52 |
| 80 | 0,1 | 0,54 | 0,64 | 0,75 | 0,94 | 1,26 | 1,72 | 2,04 | 2,69 | 3,52 | 4,40 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
плёночных углеродистых резисторов.

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,52 | 0,60 | 0,65 | 0,80 | 1,00 |
| 30 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,46 | 0,53 | 0,60 | 0,68 | 0,75 | 0,94 | 1,40 |
| 40 | 0,38 | 0,42 | 0,48 | 0,52 | 0,61 | 0,70 | 0,80 | 0,86 | 1,85 | 1,95 |
| 50 | 0,46 | 0,48 | 0,54 | 0,60 | 0,72 | 0,82 | 0,92 | 1,00 | 1,90 | 2,25 |
| 60 | 0,47 | 0,52 | 0,62 | 0,71 | 0,85 | 0,98 | 1,20 | 1,60 | 2,75 | 5,15 |
| 70 | 0,54 | 0,60 | 0,72 | 0,84 | 1,00 | 1,45 | 1,90 | 2,50 | 4,20 | 8,00 |
| 80 | 0,62 | 0,72 | 0,84 | 1,00 | 1,45 | 2,00 | 3,30 | 6,00 | 8,00 | |
| 90 | 0,70 | 0,85 | 1,00 | 1,45 | 2,00 | 3,30 | 6,00 | 8,00 | | |
| 100 | 0,82 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 3,30 | 5,00 | 8,00 | | | |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
композиционных резисторов

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | | |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | <0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,70 | 0,75 | 0,78 | 0,79 | 0,80 | 0,83 | 0,86 | 0,89 | 0,92 | 1,95 | 1,00 |
| 30 | 0,72 | 0,76 | 0,80 | 0,84 | 0,88 | 0,92 | 0,96 | 1,02 | 1,08 | 1,11 | 1,14 |
| 40 | 0,74 | 0,80 | 0,84 | 0,91 | 0,98 | 1,02 | 1,06 | 1,14 | 1,22 | 1,29 | 1,36 |
| 50 | 0,78 | 0,84 | 0,92 | 1,01 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,31 | 1,42 | 1,54 | 1,66 |
| 60 | 0,82 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,27 | 1,34 | 1,48 | 1,62 | 1,81 | 2,00 |
| 70 | 0,95 | 1,00 | 1,08 | 1,21 | 1,34 | 1,42 | 1,50 | 1,62 | 1,86 | 2,18 | 2,50 |
| 80 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 0,35 | 1,50 | 1,60 | 1,68 | 1,90 | 2,10 | 2,50 | 3,30 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
объёмных резисторов

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,61 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,79 | 0,83 | 0,87 | 0,90 | 0,94 | 1,00 |
| 30 | 0,72 | 0,74 | 0,77 | 0,80 | 0,85 | 0,89 | 0,93 | 0,97 | 1,00 | 1,05 |
| 40 | 0,77 | 0,80 | 0,84 | 0,87 | 0,92 | 0,95 | 0,99 | 1,05 | 1,15 | 1,25 |
| 50 | 0,83 | 0,86 | 0,89 | 0,92 | 0,98 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,35 | 1,4 |
| 60 | 0,89 | 0,92 | 0,98 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,30 | 1,40 | 1,55 | 1,65 |
| 70 | 0,95 | 0,98 | 1,05 | 1,10 | 1,20 | 1,35 | 1,50 | 1,17 | 1,99 | 2,10 |
| 80 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,35 | 1,55 | 1,70 | 1,90 | 2,15 | 2,35 | 2,65 |
| 90 | 1,20 | 1,30 | 1,45 | 1,65 | 1,80 | 2,05 | 2,30 | 2,60 | 2,85 | 3,25 |
| 100 | 1,40 | 1,55 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,90 | 3,25 | 3,75 | 4,25 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
проволочных переменных резисторов.

| t °C | поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,23 | 0,31 | 0,41 | 0,59 | 0,80 | 1,00 |
| 30 | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,19 | 0,25 | 0,34 | 0,45 | 0,65 | 0,86 | 1,07 |
| 40 | 0,09 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,27 | 0,36 | 0,50 | 0,69 | 0,91 | 1,14 |
| 50 | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,22 | 0,30 | 0,41 | 0,55 | 0,73 | 0,97 | 1,20 |
| 60 | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,24 | 0,32 | 0,44 | 0,60 | 0,78 | 1,02 | 1,26 |
| 70 | 0,12 | 0,16 | 0,19 | 0,25 | 0,34 | 0,48 | 0,64 | 0,83 | 1,07 | 1,33 |
| 80 | 0,13 | 0,18 | 0,22 | 0,27 | 0,36 | 0,50 | 0,68 | 0,88 | 1,12 | 1,40 |
| 90 | 0,15 | 0,20 | 0,24 | 0,29 | 0,38 | 0,52 | 0,72 | 0,93 | 1,17 | 1,45 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для
проволочных постоянных резисторов.

| t °C | поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|------|---|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,05 | 0,06 | 0,065 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,23 | 0,44 | 0,75 | 1,00 |
| 30 | 0,10 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,24 | 0,40 | 0,62 | 0,88 | 1,15 |
| 40 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | 0,25 | 0,39 | 0,58 | 0,82 | 1,08 | 1,37 |
| 50 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,34 | 0,53 | 0,76 | 1,08 | 1,30 | 1,61 |
| 60 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,34 | 0,43 | 0,67 | 0,95 | 1,25 | 0,54 | 1,80 |
| 70 | 0,31 | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,51 | 0,81 | 1,15 | 1,48 | 1,74 | 1,80 |
| 80 | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,45 | 0,63 | 0,90 | 0,30 | 1,62 | 1,80 | |
| 90 | 0,40 | 0,47 | 0,54 | 0,60 | 0,70 | 1,15 | 1,50 | 1,80 | | |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для
переменных непроволочных резисторов**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,15 | 0,20 | 0,26 | 0,35 | 0,42 | 0,50 | 0,60 | 0,72 | 0,84 | 1,00 |
| 30 | 0,21 | 0,27 | 0,34 | 0,43 | 0,51 | 0,62 | 0,75 | 0,88 | 1,07 | 1,26 |
| 40 | 0,27 | 0,33 | 0,42 | 0,51 | 0,60 | 0,76 | 0,94 | 1,10 | 1,38 | 1,71 |
| 50 | 0,34 | 0,40 | 0,50 | 0,59 | 0,71 | 0,92 | 1,17 | 1,38 | 1,76 | 2,22 |
| 60 | 0,40 | 0,47 | 0,57 | 0,67 | 0,82 | 1,08 | 1,43 | 1,17 | 2,17 | 2,81 |
| 70 | 0,46 | 0,54 | 0,64 | 0,75 | 0,94 | 1,26 | 1,72 | 2,04 | 2,69 | 3,52 |
| 80 | 0,54 | 0,61 | 0,71 | 0,84 | 1,07 | 1,46 | 2,05 | 2,48 | 3,31 | 4,40 |
| 90 | 0,60 | 0,70 | 0,79 | 0,92 | 1,20 | 1,66 | 2,40 | 2,99 | 4,04 | 5,40 |
| 100 | 0,69 | 0,78 | 0,87 | 1,00 | 1,32 | 1,88 | 2,77 | 3,60 | 4,90 | 6,70 |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для
бумажных и металлобумажных конденсаторов**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,11 | 0,20 | 0,27 | 0,41 | 0,47 | 0,55 | 0,71 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| 30 | 0,12 | 0,21 | 0,28 | 0,41 | 0,51 | 0,61 | 0,77 | 0,90 | 0,98 | 1,15 |
| 40 | 0,13 | 0,23 | 0,29 | 0,42 | 0,55 | 0,68 | 0,86 | 1,00 | 1,20 | 1,40 |
| 50 | 0,16 | 0,25 | 0,32 | 0,45 | 0,62 | 0,78 | 1,00 | 1,40 | 1,70 | 1,95 |
| 60 | 0,18 | 0,28 | 0,37 | 0,51 | 0,71 | 1,00 | 0,45 | 1,95 | 2,45 | 3,35 |
| 70 | 0,22 | 0,33 | 0,44 | 0,60 | 0,83 | 1,40 | 2,10 | 2,80 | 3,60 | 5,70 |
| 80 | 0,33 | 0,38 | 0,55 | 0,80 | 1,25 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 5,25 | |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для
плёночных, металлоплёночных, комбинированных и
лакоплёночных конденсаторов.**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,11 | 0,20 | 0,27 | 0,41 | 0,47 | 0,55 | 0,71 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| 30 | 0,12 | 0,21 | 0,28 | 0,41 | 0,51 | 0,61 | 0,77 | 0,90 | 0,98 | 1,15 |
| 40 | 0,13 | 0,23 | 0,29 | 0,42 | 0,55 | 0,68 | 0,86 | 1,00 | 1,20 | 1,40 |
| 50 | 0,16 | 0,25 | 0,32 | 0,45 | 0,62 | 0,78 | 1,00 | 1,40 | 1,70 | 1,95 |
| 60 | 0,18 | 0,28 | 0,37 | 0,51 | 0,71 | 1,00 | 0,45 | 1,95 | 2,45 | 3,35 |
| 70 | 0,22 | 0,33 | 0,44 | 0,60 | 0,83 | 1,40 | 2,10 | 2,80 | 3,60 | 5,70 |
| 80 | 0,33 | 0,38 | 0,55 | 0,80 | 1,25 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 5,25 | |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для
слюдяных конденсаторов.**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,70 | 1,00 |
| 30 | 0,05 | 0,10 | 0,12 | 0,18 | 0,22 | 0,38 | 0,35 | 0,50 | 0,80 | 1,40 |
| 40 | 0,08 | 0,11 | 0,19 | 0,25 | 0,33 | 0,32 | 0,45 | 0,60 | 1,00 | 1,60 |
| 50 | 0,11 | 0,18 | 0,25 | 0,32 | 0,38 | 0,45 | 0,58 | 0,72 | 1,25 | 2,00 |
| 60 | 0,20 | 0,25 | 0,33 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,70 | 2,60 |
| 70 | 0,30 | 0,38 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 2,50 | 4,00 |
| 80 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,40 | 1,60 | 2,20 | 3,60 | 6,00 |
| 90 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,40 | 1,60 | 2,00 | 2,50 | 3,20 | 5,50 | |
| 100 | 1,00 | 1,25 | 1,55 | 1,80 | 2,20 | 2,60 | 3,50 | 5,20 | | |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для
электролитических конденсаторов (кроме танталовых)**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,66 | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,66 | 0,80 | 0,84 | 1,00 |
| 30 | 0,82 | 0,66 | 0,50 | 0,66 | 0,82 | 0,94 | 1,15 | 1,40 |
| 40 | 1,10 | 0,88 | 0,68 | 0,88 | 1,10 | 1,40 | 1,75 | 2,00 |
| 50 | 1,75 | 1,45 | 1,10 | 1,45 | 1,75 | 2,20 | 2,70 | 3,20 |
| 60 | 2,75 | 2,15 | 1,90 | 2,15 | 2,75 | 3,45 | 4,40 | 5,40 |
| 70 | 4,40 | 3,70 | 3,00 | 3,70 | 4,40 | 5,70 | 7,75 | |
| 80 | 7,00 | 5,70 | 4,60 | 5,70 | 7,00 | 9,00 | | |
| 90 | | 8,00 | 6,70 | 8,00 | | | | |
| 100 | | | 9,00 | | | | | |

**Значение поправочного коэффициента α_2 для танталовых
конденсаторов**

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,36 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,36 | 0,54 | 0,70 | 1,00 |
| 30 | 0,40 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,40 | 0,58 | 0,78 | 1,05 |
| 40 | 0,48 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,48 | 0,66 | 0,90 | 1,15 |
| 50 | 0,58 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,58 | 0,78 | 1,05 | 1,35 |
| 60 | 0,68 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,68 | 0,96 | 1,13 | 1,63 |
| 70 | 0,84 | 0,58 | 0,58 | 0,58 | 0,84 | 1,18 | 1,50 | 2,00 |
| 80 | 1,10 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 1,10 | 1,20 | 1,90 | 2,60 |

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,30 | 1,60 | 2,50 | 3,30 |
| 100 | 1,40 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,40 | 2,25 | 3,20 | 4,20 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для керамических конденсаторов

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|----------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,038 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,13 | 0,23 | 0,38 | 0,52 | 0,76 | 1,00 |
| 30 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,16 | 0,29 | 0,42 | 0,61 | 0,88 | 1,17 |
| 40 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,18 | 0,33 | 0,46 | 0,69 | 0,89 | 1,36 |
| 50 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,12 | 0,20 | 0,33 | 0,52 | 0,78 | 1,13 | 1,54 |
| 60 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,13 | 0,23 | 0,42 | 0,61 | 0,89 | 1,30 | 1,75 |
| 70 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 0,29 | 0,48 | 0,70 | 1,03 | 1,52 | 2,00 |
| 80 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,16 | 0,38 | 0,56 | 0,80 | 1,19 | 1,77 | 2,00 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для коммутационных изделий

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | |
|----------------|---|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,00 |
| 20 | 0,76 | 0,77 | 0,79 | 0,81 | 0,83 | 0,85 |
| 30 | 0,79 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,87 |
| 40 | 0,81 | 0,82 | 0,84 | 0,87 | 0,88 | 0,89 |
| 50 | 0,83 | 0,84 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,92 |
| 60 | 0,85 | 0,87 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,95 |
| 70 | 0,88 | 0,89 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 |
| 80 | 0,90 | 0,91 | 0,94 | 0,97 | 0,98 | 1,00 |

Значение поправочного коэффициента α для прямоугольных разъемов

| t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | |
|-------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 20 | 0,06 | 0,1 | 0,15 | 0,22 | 0,32 | 0,48 |
| 30 | 0,06 | 0,12 | 0,16 | 0,23 | 0,35 | 0,53 |
| 40 | 0,07 | 0,13 | 0,18 | 0,25 | 0,38 | 0,58 |
| 50 | 0,07 | 0,14 | 0,19 | 0,28 | 0,42 | 0,64 |
| 60 | 0,075 | 0,15 | 0,21 | 0,31 | 0,46 | 0,7 |
| 70 | 0,08 | 0,116 | 0,23 | 0,34 | 0,51 | 0,74 |
| 80 | 0,09 | 0,17 | 0,24 | 0,37 | 0,56 | 0,84 |
| 90 | 0,1 | 0,18 | 0,26 | 0,42 | 0,61 | 0,92 |
| 100 | 0,112 | 0,20 | 0,27 | 0,45 | 0,67 | 1,0 |

| Диоды | t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | | |
|-------------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| Германиевые | 20 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| | 30 | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,40 | 0,55 | 0,65 | 0,90 | 1,20 | 1,50 | 1,80 | 2,20 |
| | 40 | 0,30 | 0,50 | 0,67 | 0,95 | 1,40 | 1,55 | 2,15 | 2,70 | 3,30 | 4,00 | 5,00 |
| | 50 | 0,80 | 0,85 | 2,00 | 2,40 | 3,30 | 3,95 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 8,50 | 9,00 |
| | 60 | 2,50 | 3,50 | 4,50 | 5,70 | 7,30 | 8,50 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | |
| | 70 | 6,20 | 7,30 | 8,50 | 9,30 | 9,00 | 9,00 | | | | | |
| Кремниевые | 20 | 0,01 | 0,05 | 0,07 | 0,15 | 0,20 | 0,26 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| | 30 | 0,02 | 0,05 | 0,08 | 0,20 | 0,26 | 0,32 | 0,48 | 0,70 | 0,88 | 1,05 | 0,27 |
| | 40 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,26 | 0,33 | 0,43 | 0,62 | 0,87 | 1,13 | 1,30 | 1,58 |
| | 50 | 0,04 | 0,09 | 0,15 | 0,32 | 0,45 | 0,59 | 0,81 | 1,13 | 1,40 | 1,60 | 2,00 |
| | 60 | 0,05 | 0,13 | 0,21 | 0,42 | 0,59 | 0,76 | 1,20 | 1,45 | 1,68 | 2,00 | 3,00 |
| | 70 | 0,06 | 0,20 | 0,28 | 0,58 | 0,74 | 0,99 | 1,31 | 1,80 | 2,05 | 2,30 | |
| | 80 | 0,07 | 0,25 | 0,35 | 0,68 | 0,94 | 1,24 | 1,62 | 2,10 | 2,30 | 3,00 | |
| | 90 | 0,08 | 0,30 | 0,45 | 0,85 | 1,15 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | | |
| | 100 | 0,09 | 0,40 | 0,58 | 1,08 | 1,46 | 1,80 | 2,30 | 3,00 | | | |
| | 110 | 0,10 | 0,55 | 0,73 | 1,63 | 1,81 | 2,15 | 2,65 | | | | |
| | 120 | 0,11 | 0,75 | 0,93 | 1,68 | 2,21 | 2,55 | 3,05 | | | | |

Значения поправочного коэффициента α_2 для полупроводниковых диодов

Значения поправочного коэффициента α_2 для полупроводниковых транзисторов

| Транзисторы | t °C | Поправочный коэффициент α_2 при Кн | | | | | | | | | |
|-------------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| Германиевые | 20 | 0,20 | 0,23 | 0,36 | 0,35 | 0,42 | 0,50 | 0,60 | 0,74 | 0,92 | 1,00 |
| | 30 | 0,21 | 0,27 | 0,32 | 0,45 | 0,52 | 0,65 | 0,83 | 0,95 | 1,12 | 1,34 |
| | 40 | 0,25 | 0,32 | 0,40 | 0,55 | 0,66 | 0,81 | 1,04 | 1,22 | 1,40 | 1,65 |
| | 50 | 0,30 | 0,42 | 0,50 | 0,68 | 0,84 | 1,08 | 1,31 | 1,50 | 1,75 | 2,06 |
| | 60 | 0,39 | 0,52 | 0,63 | 0,86 | 1,10 | 1,38 | 1,65 | 1,90 | 2,15 | 2,52 |
| | 70 | 0,49 | 0,63 | 0,80 | 1,11 | 1,40 | 1,73 | 2,05 | 2,35 | 2,70 | 3,10 |
| Кремниевые | 20 | 0,06 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,25 | 0,35 | 0,50 | 0,66 | 0,70 | 1,00 |
| | 30 | 0,06 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,27 | 0,37 | 0,52 | 0,68 | 0,75 | 1,05 |
| | 40 | 0,07 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,30 | 0,40 | 0,56 | 0,70 | 0,85 | 1,12 |
| | 50 | 0,07 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,33 | 0,42 | 0,60 | 0,75 | 1,00 | 1,23 |
| | 60 | 0,08 | 0,16 | 0,18 | 0,21 | 0,40 | 0,48 | 0,65 | 0,80 | 1,15 | 1,40 |
| | 70 | 0,08 | 0,17 | 0,19 | 0,23 | 0,48 | 0,55 | 0,75 | 0,95 | 1,30 | 1,60 |
| | 80 | 0,09 | 0,18 | 0,20 | 0,25 | 0,48 | 0,62 | 0,82 | 1,14 | 1,50 | 1,80 |

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 90 | 0,09 | 0,19 | 0,22 | 0,28 | 0,58 | 0,72 | 1,05 | 1,38 | 1,75 | 2,17 |
| | 100 | 0,10 | 0,20 | 0,26 | 0,35 | 0,63 | 0,80 | 1,25 | 1,57 | 2,08 | 2,50 |
| | 110 | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,50 | 0,75 | 1,10 | 1,50 | 1,85 | 2,45 | 3,00 |
| | 120 | 0,14 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,90 | 1,80 | 1,80 | 2,25 | 2,90 | 3,60 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для трансформаторов

| | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| t °C | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 85 |
| α | 0,14 | 0,22 | 0,31 | 0,43 | 0,55 | 0,67 | 0,8 | 0,93 | 1,0 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для стабилитронов

| t °C | Поправочный коэффициент α при Кн | | | | | | | | | |
|-----------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,00 |
| 20 | 0,008 | 0,06 | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,50 | 0,62 | 0,75 | 0,86 | 1,00 |
| 40 | 0,020 | 0,08 | 0,20 | 0,35 | 0,54 | 0,75 | 1,00 | 1,30 | 2,00 | 3,10 |
| 50 | 0,035 | 0,10 | 0,24 | 0,38 | 0,63 | 0,82 | 1,40 | 1,80 | 3,00 | 5,00 |
| 60 | 0,050 | 0,15 | 0,28 | 0,50 | 0,72 | 1,20 | 1,70 | 2,40 | 4,60 | 10,00 |
| 70 | 0,070 | 0,18 | 0,34 | 0,60 | 0,90 | 1,40 | 2,00 | 3,40 | 6,50 | 12,00 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для катушек индуктивности

| | | | | | | | | |
|----------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|
| t °C | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 85 |
| α | 0,23 | 0,32 | 0,4 | 0,56 | 0,68 | 0,80 | 0,93 | 1,0 |

Значение поправочного коэффициента α_2 для радиочастотных соединений

| | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t °C | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| α | 0,04 | 0,55 | 0,07 | 0,91 | 1,13 | 1,37 | 1,64 | 1,92 | 2,21 | 2,26 |

8 Разработка конструкции печатной платы и печатного узла

Печатная плата – это изоляционное основание с нанесённым на него печатным монтажом, монтажными и крепёжными отверстиями. По результатам разработки конструкции печатной платы и печатного узла будет выполняться чертеж печатной платы и сборочный чертеж печатного узла. При разработке печатной платы следует руководствоваться ГОСТ 10317-79 «Печатные платы. Основные размеры»

В этом разделе рекомендуется рассмотреть следующие вопросы:

- тип конструкции платы (одно- или двухсторонняя) с обоснованием выбора;
- выбор и описание класса точности печатной платы;
- выбор, обоснование и описание метода изготовления печатной платы;
- выбор, обоснование материала для изготовления печатной платы;
- выбор и обоснование ширины печатных проводников;
- расчет диаметров монтажных отверстий;
- расчет диаметров контактных площадок;
- размер контактных площадок для SMD компонентов
- указание размеров сторон печатной платы;
- обоснования наличия (если требуется) крепежных отверстий;
- обоснование вариантов установки навесных элементов на печатную плату и материалов, необходимых для изготовления печатного узла.

Пример оформления подраздела «Разработка конструкции печатной платы и печатного узла»

Печатная плата будет спроектирована односторонней, так как она наиболее технологична при изготовлении и устройство не содержит большого количества микросхем.

В качестве изоляционного основания применяется фольгированный стеклотекстолит марки СФ1-35-1, толщина основания 1мм, который обладает хорошими физико-механическими свойствами.

Печатную плату изготавливаем по второму классу точности с параметрами:

- ширина печатных проводников $t = 0,45$ мм;
- расстояние между краями печатных проводников $\delta = 0,45$ мм;
- необходимая радиальная толщина контактных площадок $b = 0,2$ мм;
- отношение номинального диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине печатной платы, или гибкого печатного кабеля $\gamma = 0,4$;
- предельные отклонения ширины печатных проводников без покрытия $\pm 0,1$ мм.

Класс точности платы определяет коэффициент запаса, необходимый для расчёта размеров изоляционного основания, допуск на отклонение размеров печатного монтажа, монтажных отверстий.

Плату будем изготавливать комбинированным методом, сущность которого состоит в сочетании химического и электрохимического методов.

Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра вставляемого в него вывода элемента, что обеспечит возможность свободной установки электрорадиоэлемента, плюс допуск на свободную установку. Если диаметр вывода меньше 0,8мм, то диаметр отверстия рассверливают на 0,2мм. Если диаметр вывода больше 0,8мм, то диаметр отверстия рассверливают на 0,3мм больше.

-рассчитываем диаметр монтажных отверстий по формуле

$$d_{\text{мо}} = d_{\text{выб}} + \Delta a ,$$

где $d_{\text{выб}}$ – диаметр вывода, мм;

Δa – допуск на рассверловку отверстия, мм.

Резисторы С2-33Н -0,125, диоды КД503 имеют выводы диаметром 0,6мм, ИМС К561ЛЕ3 – 0,8мм, следовательно:

$$d_{\text{мо}1} = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

$$d_{\text{мо}2} = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ мм}$$

-рассчитываем диаметр контактных площадок:

$$d_{\text{кп}} = d_{\text{мо}} + 2b + c,$$

где $d_{\text{мо}}$ – диаметры монтажных отверстий, мм;

$2b$ – радиальная толщина площадки, мм;

c – допуск на изготовление, мм.

$$d_{\text{кп}1} = 0,8 + 2 \cdot 0,3 + 0,6 = 2,0 \text{ мм}$$

$$d_{\text{кп}2} = 1,1 + 2 \cdot 0,3 + 0,6 = 2,3 \text{ мм}$$

Печатная плата будет проектироваться прямоугольной с размерами сторон (50 x 65) мм.

Для закрепления платы внутри корпуса в ней будут просверлены крепежные отверстия диаметром 3 мм.

Печатный узел – это печатная плата с установленными на ней электрорадиоэлементами.

Если выводы используемых радиоэлементов штыревого типа, то их устанавливают в отверстия и запаивают, если планарного типа или

применяются поверхностно-монтажные изделия (SMD), то они напаиваются на контактные площадки.

При размещении элементов на печатной плате необходимо учитывать следующее:

1) полупроводниковые приборы и микросхемы не следует располагать близко к элементам, выделяющим большое количество теплоты, а как же к источникам сильных магнитных полей (постоянным магнитам, трансформаторам и др.);

2) должна быть предусмотрена возможность конвекции воздуха в зоне расположения элементов, выделяющих большое количество теплоты.

Диоды BZX55C5V1, KB109Г, катушки индуктивности, резисторы С2-33Н устанавливать по варианту 140, конденсаторы К10-17б, конденсаторы К50-35 устанавливать по варианту 180, микросхемы TDA7000, U2822В устанавливать по варианту 320.

Высота установки по перечисленным вариантам - $2^{+0,1}$ мм .

Эти варианты установки обеспечивают хороший теплоотвод от элементов за счет конвекции воздуха.

На рисунке 6 представлены варианты установки элементов

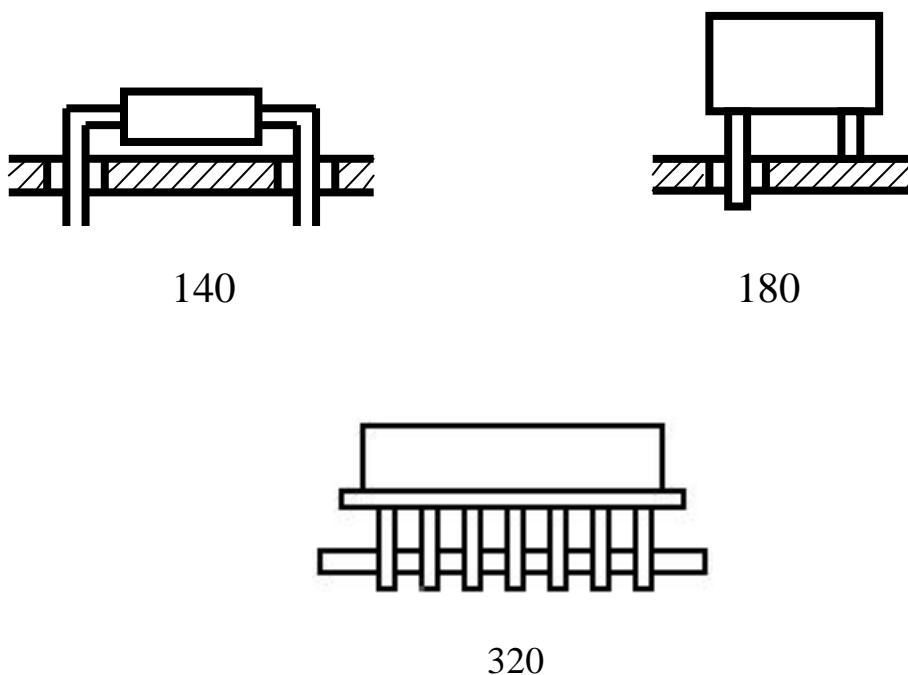

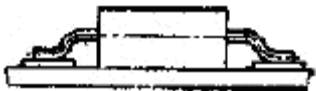


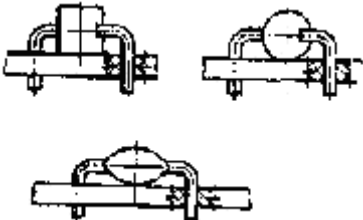
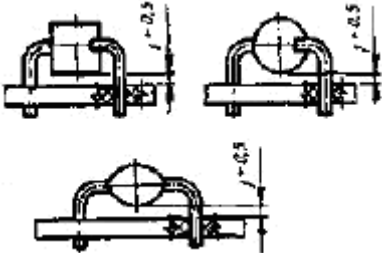





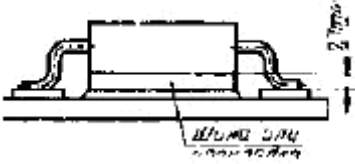
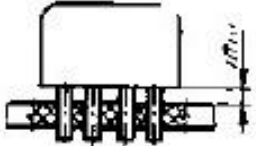
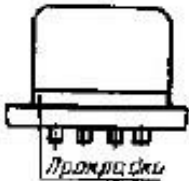
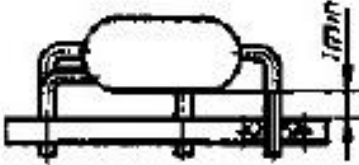
Рисунок 4 Варианты установки элементов

Для пайки элементов будем использовать припой ПОС-61, исходя из расхода 0,1 грамм на одну пайку, для маркировки заводского номера и обозначения элементов будем использовать краску ЧМ, черный, ТУ90259-78, для защиты мест паяк от окисления – лак УР-231,

Варианты установки навесных элементов по ГОСТ 29137-91

| Конструктивное исполнение | Обозначение варианта | Рекомендуемое применение |
|---|----------------------|---|
|  | 010 | Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических, прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами |
|  | 070 | |
|  | 140 | |
|  | 020 | Резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы в округленных, прямоугольных корпусах или дискообразной, каплевидной формы с двумя, тремя однонаправленными выводами |
|  | 080 | |
|  | 040 | Диоды в каплевидных корпусах с двумя осевыми выводами |
|  | 150 | |

| | | |
|---|-----|--|
|  | 180 | Резисторы, конденсаторы, полупроводниковые диоды со штыревыми выводами |
|  | 211 | |
|  | 190 | Транзисторы с однонаправленными выводами |
|  | 240 | |
|  | 270 | |
|  | 220 | Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических, прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами |
|  | 290 | ИМС в круглых корпусах |
|  | 301 | |
|  | 320 | ИМС в прямоугольных корпусах типа 1 по ГОСТ 17467 |

| | | |
|---|-----|--|
|  | 330 | ИМС в прямоугольных корпусах типа 2 по ГОСТ 17467 |
|  | 360 | ИМС и другие изделия электронной техники в корпусах типа 4 по ГОСТ 17467 |
|  | 370 | |
|  | 380 | |
|  | 390 | Трансформаторы, резисторы, конденсаторы, фильтры в цилиндрических, прямоугольных корпусах с тремя и более однонаправленными выводами |
|  | 400 | |
|  | 410 | Реле |

Плата печатная. Основные размеры. ГОСТ 10317-79

1. Настоящий стандарт распространяется на одно-, двухсторонние и многослойные печатные платы на жестком и гибком основаниях.

Стандарт устанавливает основные размеры печатных плат, допуски на размеры и прямоугольность, шаг координатной сетки и размеры отверстий.

Стандарт соответствует в части применения шага координатной сетки 2,50; 1,25; 0,625; 0,50 мм.

2. Размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными:

2,5 – при длине до 100 мм;

5,0 – при длине до 350 мм;

10,0 – при длине более 350 мм;

Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм.

3. Допуски на линейные размеры сторон печатной платы должны соответствовать установленным ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25347-82.

4. Соотношение линейных размеров сторон печатной платы должно быть не более 3:1.

Примечание: по согласованию с заказчиком допускается увеличение указанного соотношения.

5. Отклонение от перпендикулярности печатной платы не должно быть более 0,2 мм на 100 мм длины.

6. Основной шаг координатной сетки должен быть 2,50 мм.

При использовании шага координатной сетки менее основного следует применять шаг, равный 1,25; 0,625; (0,5) мм.

Примечание:

1) Значение, указанное в скобках, применять не рекомендуется.

2) Шаги координатной сетки 0,625 и 0,5 мм не распространяются на соединительные размеры любых навесных элементов, устанавливаемых на печатные платы.

7. Диаметры монтажных, переходных, металлизированных и неметаллизированных отверстий должны быть выбраны из ряда: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

8. Центры отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки.

Примечание:

При применении навесных (дискретных) элементов с шагом выводов, не кратных шагу координатной сетки, необходимо в узле координатной сетки располагать одно из отверстий, принятое за основное. Остальные отверстия располагают в соответствии с рабочим чертежом элемента.

Приложениями к конструкторскому разделу пояснительной записки являются перечень элементов к схеме электрической принципиальной и спецификация печатного узла.

Перечень элементов

Перечень элементов (ПЭЗ) - текстовый документ, выполняемый к схеме электрической принципиальной и содержащий сведения об элементах, которые в ней используются. ПЭЗ выполняется в виде таблицы, расположенной либо на чертеже схемы электрической принципиальной, либо в виде отдельного документа. В ПЭЗ записываются элементы, указанные на схеме, в алфавитном порядке буквенно-позиционных обозначений (алфавит латинский), внутри каждой группы - по возрастанию порядкового номера.

Допускается:

-элементы с одинаковыми параметрами, располагающиеся в схеме по-порядку, объединять в одну строку, с указанием в графе «Кол» общего количества элементов;

-наименование элементов выносить в виде заголовка, если в группе содержится несколько элементов;

-выносить в заголовок номера нормативных документов на элементы (ТУ,ГОСТ), если они одинаковые на все или большинство элементов.

Например, записать в ПЭЗ элементы:

| | |
|------------|---------------------------------------|
| C1, C3, C4 | K10-17-250В-120пФ ±10% ОГО.138.351ТУ |
| C2,C5 , | K10-17-250В-51пФ + 10% ОГО.138.351 ТУ |
| C6 | K73-2- 10В-10мкФ +20% ОТЕ.425 .678ТУ |

Порядок записи:

Конденсаторы K10-17 ОГО. 138 .351ТУ .

| | | |
|-------|----------------------------------|---|
| C1 | K10-17-250В-120пФ±10% | 1 |
| C2 | K10-17-250В-51пФ±10% | 1 |
| C3,C4 | K10-17-250В-120пФ±10% | 2 |
| C5 | K10-17-250В-51пФ+10% | 1 |
| C6 | K73-2-10В-10мФ+20% оТЕ.425.678ТУ | 1 |

Форма перечня элементов:

| Поз. обозн. | Наименование | Кол. | Примечание |
|-------------|-----------------------------------|------|------------|
| | | | |
| | Конденсаторы К10-17 ОГО.138.351ТУ | | |
| С1 | К10-17-2 50В-12 0пФ±10% | 1 | |
| С2 | К10-17-2 50В-51пФ±10% | 1 | |
| | 110мм | 10мм | 45 мм |

| Поз. обозн. | Наименование | Кол. | Примечание |
|-------------|------------------------------------|------|------------|
| | | | |
| ВА1 | Громкоговоритель YD50-02М | 1 | |
| | | | |
| | Конденсаторы | | |
| | К10-176 ОЖО.460.172ТУ | | |
| | К50-35 ОЖО.648.004ТУ | | |
| С1 | К10-176-М47-50В-39 пФ ±20% | 1 | |
| С2 | К10-176-М1500-50В-1800 пФ ±20% | 1 | |
| С3 | К10-176-Н50-50В-3300 пФ +50/-20% | 1 | |
| С4 | К10-176-М47-50В-150 пФ ±20% | 1 | |
| С5 | К10-176-М47-50В-6,8 пФ ±20% | 1 | |
| С6 | К10-176-Н50-50В-0,1 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С7 | К10-176-М47-50В-330 пФ ±20% | 1 | |
| С8, С9 | К10-176-М47-50В-220 пФ ±20% | 2 | |
| С10 | К10-176-Н50-50В-0,01 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С11 | К10-176-Н50-50В-0,022 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С12 | К10-176-Н50-50В-0,1 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С13 | К10-176-Н50-50В-3300 пФ +50/-20% | 1 | |
| С14 | К10-176-М47-50В-6,8 пФ ±20% | 1 | |
| С15, С16 | К10-176-Н50-50В-0,15 мкФ +50/-20% | 2 | |
| С17 | К10-176-Н50-50В-0,1 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С18 | К50-35-16В-100 мкФ +50/-10% | 1 | |
| С19 | К10-176-Н50-50В-0,1 мкФ +50/-20% | 1 | |
| С20 | К10-176-Н90-40В-0,33 мкФ +58/-20% | 1 | |
| С21, С22 | К50-35-16В-100 мкФ +50/-10% | 2 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------------------|-------------|---------|------|--------------------|--|--|--|------|------|--------|---|--|
| C23 | K10-176-H50-50B-0,15 мкФ +50/-20% | | | | 1 | | | | | | | | |
| C24 | K50-35-16B-220 мкФ +50/-10% | | | | 1 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | СТКК.464327.001ПЭЗ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Изм | Лист | № документа | Подпись | Дата | | | | | | | | | |
| Разраб. | | | | | Приемник УКВ | | | | Лит. | Лист | Листов | | |
| Провер. | | | | | | | | | | | 1 | 2 | |
| Н.контр. | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Утв. | | | | | Перечень элементов | | | | | | | | |

Пример оформления перечня элементов и спецификации приведен в данном методическом пособии

| Поз. обозн. | Наименование | Кол. | Примечание |
|-------------|-------------------------------|------|---------------|
| | | | |
| | Микросхемы | | |
| DA1 | TDA7000 | 1 | импортный |
| DA2 | U2822B | 1 | импортный |
| | | | |
| L1,L2 | Катушка индуктивности 0,3мкГн | 2 | 4 витка Ø1 мм |
| | | | |
| | Резисторы | | |
| | C2-33H ОЖО.467.093ТУ | | |
| | СПЗ-4аМ ОЖО.468.404ТУ | | |
| R1 | C2-33H-0,125-22 кОм ±10% | 1 | |
| R2 | C2-33H-0,125-2,43 кОм ±10% | 1 | |
| R3 | СПЗ-4аМ-0,25-100 кОм ±10% | 1 | |
| R4 | C2-33H-0,125-22 кОм ±10% | 1 | |
| R5 | C2-33H-0,125-270 Ом ±10% | 1 | |
| R6 | C2-33H-0,125-2,43 кОм ±10% | 1 | |

| | | | | | | | |
|----------|------|--------|-------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|--------|
| | | 3 | | KB109Г | 1 | VD1 импортный | |
| | | | | | | | |
| | | 4 | | Катушка индуктивности 0,3 мГн | 2 | L1, L2, четыре витка Ø1 мм | |
| | | | | | | | |
| | | | | Конденсаторы | | | |
| | | | | K10-176 ОЖО.460.172ТУ | | | |
| | | | | K50-35 ОЖО.648.004ТУ | | | |
| | | 5 | | K10-176-50В-6,8пФ±20% | 2 | C5, C14 | |
| | | 6 | | K10-176-50В-39пФ±20% | 1 | C1 | |
| | | 7 | | K10-176-50В-150пФ±20% | 1 | C4 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Изм | Лист | №докум | Подп | Дата | СТКК.464327.001 | | |
| Разраб. | | | | | Лит. | Лист | Листов |
| Провер. | | | | | | 1 | 2 |
| Н.контр. | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Утв. | | | | | | | |
| Формат | Зона | Поз. | Обозначение | Наименование | Кол | Прим. | |
| | | | | | | | |
| | | 8 | | K10-176-50В-220пФ±20% | 2 | C8, C9 | |
| | | 9 | | K10-176-50В-330пФ±20% | 1 | C7 | |
| | | 10 | | K10-176-50В-1800пФ±20% | 1 | C2 | |
| | | 11 | | K10-176-50В-3300пФ+50/-20% | 2 | C3, C13 | |
| | | 12 | | K10-176-50В-0,01мкФ+50/-20% | 1 | C10 | |
| | | 13 | | K10-176-50В-0,022мкФ+50/-20% | 1 | C11 | |
| | | 14 | | K10-176-50В-0,1мкФ+50/-20% | 4 | C6, C12, C17, C19 | |
| | | 15 | | K10-176-50В-0,15мкФ+50/-20% | 3 | C15, C16, C23 | |
| | | 16 | | K10-176-50В-0,33мкФ+50/-20% | 1 | C20 | |
| | | 17 | | K50-35-16В-100мкФ+50/-10% | 2 | C21, C22 | |
| | | 18 | | K50-35-16В-220мкФ+50/-10% | 1 | C24 | |
| | | | | | | | |
| | | | | Микросхемы | | | |
| | | 19 | | TDA7000 | 1 | DA1 импортный | |
| | | 20 | | U2822B | 1 | DA2 импортный | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|------|-------------|---------|------|------------------------------|------|--------|
| | | | | | Резисторы | | |
| | | | | | С2-33Н ОЖО.467.093ТУ | | |
| | | 21 | | | С2-33Н-0,125-270Ом±10% | 1 | R5 |
| | | 22 | | | С2-33Н-0,125-2,43кОм±10% | 2 | R2, R6 |
| | | 23 | | | С2-33Н-0,125-22кОм±10% | 2 | R1, R4 |
| | | | | | | | |
| | | | | | <u>Материалы</u> | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | Припой ПОС-61 ГОСТ 21931-86 | 15 г | |
| | | | | | Эмаль ЭП-572 ТУ 6-10-1539-79 | 3 г | |
| | | | | | Краска ЧМ чёрная | | |
| | | | | | ТУ 029-02-819-78 НО-010-007 | 3 г | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | СТКК.464327.001 | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Изм | Лист | № документа | Подпись | Дата | | | 2 |