

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР
ПО ДЕЛАМ НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
им. АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

КОНСТРУИРОВАНИЕ НАДЕЖНЫХ РЭС

Методические указания
по курсовому и дипломному
проектированию

Составители: А. Н. Чекмарев, П. А. Попов

УДК 621.396.6.001

Конструирование надежных РЭС: Метод. указания / Самар, авиац. ин-т.; Сост. А. Н. Чекмарев, П. А. Попов. Самара, 1992. 20 с.

Даются рекомендации по конструированию надежных радио-электронных средств (РЭС), выбору элементной базы. Приведены их технические параметры.

Указания предназначены для студентов специальностей 2303, 0648, 2301 и могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных проектов. Составлены по курсу «Конструирование РЭС» на кафедре «Конструирование РЭА».

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королева

Рецензент С. А. Петренко

Цель работы — изучение процедуры выбора элементной базы радиоэлектронных средств (РЭС), приобретение практического опыта по конструированию надежных РЭС и правильному оформлению чертежей с учетом требований ЕСКД.

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ РЭС

Возможности, пределы и ограничения разработки и производства РЭС всех видов и назначений определяются в конечном счете состоянием разработки и производства ее элементной базы — активных электронных компонентов (ЭК), прежде всего интегральных схем (ИС), и ЭК общего назначения, к числу которых относятся конденсаторы, резисторы, индуктивности и др. Возможности РЭС определяются электрическими параметрами, надежностью и сроком службы ЭК в определенных условиях эксплуатации, их габаритно-весовыми характеристиками.

Активные ЭК, как известно, наиболее динамичная и широко разветвленная часть элементной базы РЭС. Смена поколений РЭС всегда имела в своей основе смену поколений активных ЭК. Наиболее глубокие качественные изменения в этой группе изделий электронной техники связаны с переходом от дискретных к интегральным активным ЭК (интегральным схемам). В свою очередь, изменения активных ЭК вызывают появление новых конструктивных вариантов ЭК общего назначения, все более согласующихся с первыми по электрическим параметрам, габаритным размерам и технологии монтажа.

Последние годы отмечены в этом отношении широким применением безвыводных вариантов преимущественно таких наиболее широко распространенных ЭК, как конденсаторы и резисторы, разработкой технологии и оборудования для монтажа этих и других безвыводных компонентов непосредственно на поверхность печатных плат (подложек) [1].

В настоящее время требования к элементной базе РЭС могут быть сформулированы следующим образом:

меньше по габаритным размерам, массе, высоте (низкопрофильность конструкций);

меньше (короче) по длине межсоединений;

дешевле по стоимости;

лучше по надежности и долговечности;

большая устойчивость к внешним воздействиям.

Наиболее эффективно проблема уменьшения габаритов и массы решена для активных компонентов (ИС, БИС, СБИС и др.) на основе применения и совершенствования микроэлектронных технологий и постоянного повышения уровня интеграции. Иначе обстоит дело с дискретными пассивными компонентами (конденсаторы, резисторы, индуктивности и др.), образующими периферию ИС. Дискретные компоненты вводятся в схему наряду с ИС, когда соответствующий электрический параметр (например, емкость, электрическое сопротивление) не может быть реализован средствами существующих микроэлектронных технологий.

Основное направление реализации современных требований в части уменьшения габаритных размеров и массы современных РЭС — повышение плотности монтажа и обеспечение низкопрофильности изделий. Средство достижения этой цели — уменьшение габаритных размеров прежде всего дискретных электронных компонентов. Так, по данным фирмы Matsushita Electric (Япония), в типовых видеомагнитофонах японского производства в 1985 году сравнительно с 1980 годом количество электронных компонентов увеличилось на 23,7%; площадь печатных плат уменьшилась в 2,5 раза; плотность монтажа электронной схемы ВМ увеличилась в 3 раза [2].

Следует отметить, что применительно, в частности, к конденсаторам каждый шаг вперед в направлении уменьшения их габаритных размеров и массы связан с решением сложных материаловедческих и конструкторско-технологических задач и дается все более трудно.

Практически наиболее простым и радикальным оказалось выполнение требования, формулируемого как «меньше (короче) по длине межсоединений». В случае конденсаторов и резисторов таким решением явилась организация в конце 70-х — начале 80-х годов в США и Японии массового производства конструктивных вариантов этих компонентов, не имеющих внешних проволочных выводов. Такие безвыводные конденсаторы и резисторы (в них функции внешних присоединительных проволочных выводов выполняют контактные узлы — торцевые электроды) устанавливаются с помощью автоматизированного оборудования непосредственно на поверхности печатных плат (подложек) по месту монтажа,

фиксируют с помощью отверждаемого адгезива с последующей групповой пайкой. Такая технология получила, как известно, название технологии монтажа на поверхность (ТМП), а соответствующие электронные безвыводные компоненты получили название компонентов для монтажа на поверхность (КМП).

По данным Ассоциации электронной промышленности США, ТМП дает возможность уменьшить массу и габаритные размеры РЭС на 30—40%, применение КМП дает возможность на 80% уменьшить затраты времени на ее монтаж, причем процесс монтажа может быть почти полностью автоматизирован, габаритные размеры печатных плат могут быть уменьшены в итоге примерно на 25%.

Принципиальные особенности ТМП обусловлены тем, что ее реализация основана на применении безвыводных компонентов для МП. Отметим здесь такие особенности ТМП:

возможность использования для размещения и монтажа ЭК обеих поверхностей печатных плат;

возможность выполнения монтажа с применением элементной базы смешанного состава: безвыводных компонентов для МП и компонентов с проволочными выводами.

Вторая из этих особенностей практически важна еще и потому, что в настоящее время при достаточно широкой номенклатуре безвыводных вариантов ЭК нет ни одной их группы, которая полностью на 100% выпускалась бы только в безвыводном исполнении для МП. Поэтому необходимость применения компонентов с проволочными выводами наряду и совместно с безвыводными компонентами сохраняется и, очевидно, еще будет сохраняться в течение достаточно длительного времени (табл. 1).

Таблица 1

Структура применения ЭК в РЭС японского производства

Год	ЭК с внешними выводами, %	Безвыводные ЭК, %	
		прямоугольной формы	цилиндрические и неправильной формы
1988	68,9	29,6	1,5
1993	50	42,7	7,3

Наибольшее распространение получили многослойные керамические конденсаторы (МКК) для МП и танталовые безвыводные конденсаторы. В настоящее время сложились следующие четыре

основные направления развития МКК [2], прежде всего безвыводных: уменьшение габаритных размеров, увеличение емкости, повышение номинальных напряжений, снижение стоимости.

В настоящее время основными габаритными размерами безвыводных компонентов прямоугольной формы, в том числе и МКК, стандартизованными МЭК, являются габариты 3216 (3,2 мм × 1,6 мм), 2125 (2,0 мм × 1,25 мм) и 1608 (1,6 мм × 0,8 мм). Дальнейшая миниатюризация МКК связана с переходом к производству конденсаторов с габаритными размерами 1206 (1,2 мм × 0,6 мм) и 1005 (1,0 мм × 0,5 мм).

Ключевой, определяющей возможности увеличения емкости МКК, является проблема получения тонких пленок диэлектрика (толщиной < 10 мкм) с требуемыми и воспроизводимыми электрофизическими и механическими параметрами.

В настоящее время минимальные напряжения массовых серий безвыводных МКК в США и Японии равны 25 и 50 В. Вместе с тем в ряде применений, где требуются высоковольтные конденсаторы, например в источниках питания, могут быть использованы и высоковольтные безводные МКК (500 В ... 1 кВ).

ТАНТАЛОВЫЕ БЕЗВЫВОДНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы (ТОПК) безвыводной конструкции, обеспечивающей монтаж на поверхность печатных плат, по их удельному весу в структуре производства всех танталовых конденсаторов вполне сравнимы с безвыводными МКК.

Преимущественное применение безвыводные ТОПК получают в РЭС с высокой плотностью монтажа, когда требуется при малых габаритных размерах конденсаторов получить большие значения емкости, обеспечить стабильность характеристик и надежность изделий.

ПЛЕНОЧНЫЕ БЕЗВЫВОДНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Еще одной группой конденсаторов для монтажа на поверхность являются пленочные безвыводные конденсаторы. По сравнению с другими группами безвыводных конденсаторов они имеют наименьшую нагревостойкость из-за низкой нагревостойкости пленок из органических материалов, используемых в качестве диэлектрика конденсаторов. Конденсаторные пленочные диэлектрики имеют следующие максимальные рабочие температуры:

- поликарбонатные — 125°C;
- полипропиленовые — 100°C;
- полистирол — 85°C.

Однако непрерывные работы, направленные на повышение термостойкости пленочных материалов, а также разработка новых пленок позволяют оптимистично смотреть на будущее безвыводных пленочных конденсаторов. Наиболее перспективными в настоящее время являются безвыводные пленочные конденсаторы, в которых в качестве диэлектрика используется металлизированная полифениленсульфидная пленка, толщина которой равна 0,5 ... 1,0 мкм [2].

Надежность закладывается при проектировании, обеспечивается производством и поддерживается в эксплуатации. На этапе проектирования высоконадежную РЭС можно получить следующими методами:

- применение высоконадежных элементов;
- проектирование возможно более простых изделий;
- снижение коэффициентов электрической нагрузки;
- применение рациональных методов конструирования;
- применение различных методов резервирования.

В данной работе рассматривается один из основных методов повышения надежности РЭС — правильный выбор элементной базы компонентов РЭС. При выборе компонентов следует учитывать следующее:

- требование к стабильности параметров компонентов в предлагаемой сфере применения;
- возможные локальные механические воздействия;
- параметры компонентов, оговоренные в соответствующих ТУ;
- статистические сведения о надежности;
- перспективную серийность компонента и отсутствие ограничений на применение компонентов данного типа.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

При выборе элементной базы необходимо установить минимальный набор параметров, по которым будет производиться выбор типа компонентов. С этой целью элементную базу удобно классифицировать следующим образом:

- пассивные компоненты: резисторы, конденсаторы и др.;
- активные компоненты: транзисторы, диоды и др.;
- аналоговые и цифровые микросхемы;
- микропроцессоры.

Каждая из перечисленных групп характеризуется своими параметрами, которые определяются из технического задания на разработку и его анализа, а также из результатов расчета электрического режима изделия по постоянному току.

ВЫБОР ПАСИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

При выборе резисторов, конденсаторов основными параметрами являются:

точность и стабильность номинальных значений сопротивления (емкости);

мощность, рассеиваемая резистором (рабочее напряжение конденсатора);

параметры, характеризующие условия эксплуатации: диапазон рабочих температур, механические и климатические нагрузки;

диапазон рабочих частот;

стоимость и габаритные размеры.

Эти параметры определяются на первых этапах выполнения работы. Чем выше точность и стабильность пассивных компонентов, тем выше их стоимость, поэтому необоснованное ужесточение допусков на параметры точности неизбежно приводит к увеличению массогабаритных характеристик функционального узла и его стоимости. При выборе пассивных компонентов оптимальным будет считаться тот компонент, который наилучшим образом соответствует перечисленным выше параметрам сравнения. При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать компонентам, имеющим меньшее значение температурного коэффициента.

ВЫБОР АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

При выборе активных компонентов в качестве параметров сравнения (например для транзисторов) принимаем:

максимальный ток коллектора $I_{к\max}$;

граничную частоту $f_{г}$;

максимальную рассеиваемую мощность $P_{к\max}$;

коэффициент передачи по току β ;

условия эксплуатации.

Часто при конструировании функционального узла параметры сравнения нескольких типов активных компонентов отвечают требованиям технического задания, и перед конструктором встает задача выбора оптимального активного компонента. Для решения этой задачи в качестве критерия оптимизации используют обобщенный показатель качества

$$Q_i = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} b_{ij}, \quad (1)$$

где Q_i — обобщенный показатель качества i -го типа активного компонента;

$i = \overline{1, n}$ — (n — число типов компонентов, удовлетворяющих параметрам сравнения);

- $j = 1, m$ — номер учитываемого параметра компонента;
 α_{ij} — нормированное значение j -го параметра i -го компонента;
 b_j — весовой коэффициент j -го параметра.

Выбор оптимального типа активного компонента осуществляется в следующей последовательности:

1. Параметры сравнения приводятся к такому виду, чтобы большему численному значению параметра соответствовало лучшее качество компонента. Параметры x_{ij} , не удовлетворяющие этому условию, например, $I_{к0}$, стоимость, габариты компонента пересчитываются по формуле $y_{ij} = 1/x_{ij}$. В результате получаем матрицу приведенных параметров $Y = ||y_{ij}||$, причем $y_{ij} = x_{ij}$, если большему численному значению параметра соответствует лучшее качество компонента, и $y_{ij} = 1/x_{ij}$ — в противном случае.

2. Производится нормирование параметров матрицы Y :

$$\alpha_{ij} = (y_{\max j} - y_{ij}) / y_{\max j},$$

где $y_{\max j}$ — максимальное значение j -го параметра среди всех рассматриваемых типов компонентов.

В результате получаем матрицу нормированных параметров

$$A = ||\alpha_{ij}||.$$

3. По согласованию с консультантом, исходя из назначения и условий эксплуатации конструируемого функционального узла, задаются весовыми коэффициентами параметров сравнения b_j , накладывая следующие ограничения:

$$\sum_{j=1}^m b_j = 1.$$

4. В соответствии с (1) определяется значение Q_i для каждого типа активных компонентов. Активный компонент, у которого значение Q_i минимальное, является наиболее оптимальным.

Пример. Пусть транзисторы I, II, III по параметрам сравнения (табл. 2) удовлетворяют техническому заданию.

Таблица 2
 Параметры транзисторов

№ п/п	Тип транзистора	$I_{к \max}$, мА	$f_{г}$, мГц	$P_{к \max}$, мВт	β	$I_{к0}$, мкА
1	I	15	250	15	20	0,5
2	II	20	800	15	60	10
3	III	20	500	15	60	0,2

В соответствии с п. 1 строим матрицу приведенных параметров. Первые четыре параметра не пересчитываем, так как их увеличение повышает качество транзистора. Для параметра $I_{к0}$ берем его обратную величину. В результате преобразования матрица Y будет иметь вид

$$Y = \begin{vmatrix} 15 & 250 & 15 & 20 & 2 \\ 20 & 800 & 15 & 60 & 0,1 \\ 20 & 500 & 15 & 60 & 5 \end{vmatrix}$$

Производим нормирование параметров матрицы Y :

$$A = \begin{vmatrix} 0,25 & 0,69 & 0 & 0,67 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,98 \\ 0 & 0,37 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Задаем значения весовых коэффициентов:

$$\beta_1 = 0,2; \quad \beta_2 = 0,3; \quad \beta_3 = 0,1; \quad \beta_4 = 0,2; \quad \beta_5 = 0,2.$$

С учетом значения весовых коэффициентов и на основании (1) получаем значения обобщенного показателя качества:

$$Q_1 = 0,545; \quad Q_2 = 0,196; \quad Q_3 = 0,1125.$$

Таким образом, для проектируемого функционального узла оптимальным будет транзистор, обозначенный номером III.

ВЫБОР СЕРИИ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

Методика выбора серии аналоговых и цифровых микросхем аналогична методике выбора активных компонентов.

Параметры сравнения аналоговых микросхем выбираются в зависимости от их функционального назначения. Общими для различных функциональных групп микросхем являются следующие параметры сравнения: рассеиваемая мощность, потребляемый ток, стоимость, габаритные размеры, условия эксплуатации. Другие параметры сравнения выбираются по согласованию с консультантом.

Основными параметрами сравнения цифровых микросхем являются: средняя рассеиваемая мощность, напряжение питания, средняя задержка, помехоустойчивость, коэффициент разветвления по выходу, коэффициент объединения по входу, стоимость и габариты. Используя перечисленные параметры сравнения, по приведенной выше методике осуществляют выбор оптимальной серии аналоговых или цифровых микросхем.

В отличие от цифровых схем, реализованных по принципам жесткой логики, микропроцессорные БИС представляют собой единый комплекс аппаратуры и программного обеспечения. При выборе серии микропроцессорных БИС необходимо учитывать параметры этих БИС, а также требования, предъявляемые к проектируемому функциональному узлу. Такими требованиями чаще всего являются следующие:

временное ограничение на решаемую задачу $T_{\text{пр}} < T_{\text{д}}$,
 где $T_{\text{пр}}$ — время выполнения программы;
 $T_{\text{д}}$ — максимально допустимое время выполнения программы;
 обеспечение заданной точности решения задачи где $\Delta < \Delta_{\text{д}}$ — соответственно погрешность вычислений на выходе микропроцессора (МП) и ее допустимое значение;

ограничение на удельную потребляемую мощность $P_{\text{уд пот}} < P_{\text{д}}$,
 где $P_{\text{уд пот}}$ — удельная потребляемая мощность, Вт/см²;

минимальные стоимость и габариты микропроцессорных БИС.
 Задача выбора оптимальной серии микропроцессорных БИС сводится к определению такой серии, которая позволяет реализовать заданный функциональный узел в пределах, определенных в техническом задании, на минимальной площади монтажных плат

$$S_{\text{opt}} = \min S_i, \quad (2)$$

$$T_{\text{пр}} < T_{\text{д}}, \quad \Delta < \Delta_{\text{д}}, \quad P_{\text{уд пот}} < P_{\text{д}},$$

где $i = 1, L$ — серии микропроцессорных БИС.

Исходными данными для выбора серии микропроцессорных БИС являются следующие:

1. Проектируемый функциональный узел, задаваемый алгоритмом его функционирования A .

2. Ограничения на проектируемый узел: $T_{\text{д}}$, $\Delta_{\text{д}}$, $P_{\text{д}}$.

3. Заданный набор микропроцессорных БИС и их характеристики (табл. 2) [3].

4. Список микрокоманд и время их выполнения (табл. 3). При оценке времени выполнения были сделаны следующие допущения: операции сложения, вычитания, логические сдвиги и пересылки между регистрами общего назначения ($P_{\text{г}}-P_{\text{г}}$) выполняются за один такт работы БИС, операции пересылки память—регистр ($\Pi-P_{\text{г}}$) и регистр—память ($P_{\text{г}}-\Pi$) выполняются за три такта работы БИС, операция программного умножения выполняется за 20 тактов работы БИС.

5. Матрица вероятностей переходов $P = ||P_{ij}||$, где P_{ij} — значение вероятности того, что после i -го шага программы следующим будет выполняться j -й шаг. Максимальное значение вычисляемой величины Δ_{max} .

Приведем последовательность выбора типа микропроцессорных БИС.

1. С использованием команды, приведенной в табл. 3 [3, 4], составляется блок-схема программы функционирования проектируемого МП.

Таблица 3

Технические характеристики микропроцессорных БИС

№ п/п	Тип микропроцессорных БИС	Разрядность, бит	$P_{\text{пов}}$	Тип корпуса	Установочная площадь, см ²	Тактовая частота, МГц
1	КР 1802 ВС1	8	1,30	2206.42—1	24	5,0
2	К 1804 ВС2	4	1,75	2123.40—6	23	10,0
3	К 1800 ВС1	4	1,65	2207.48—1	27	30,0
4	КР 580 ИК80	8	1,5)	2123.40—2	23	2,5
5	КР 588 ВС2А	16	0,02	2124.42—1	24	1,0
6	КР 1802 ВР2	8	1,50	2206.42—1	24	5,0
7	КР 1802 ВР3	8	3,00	2206.42—1	24	5,0
8	КР 1802 ВР5	16	5,00	2136.64—1	28	5,0
0	КР 588 ВР1А	8	0,02	2124.42—1	24	0,2

Строится графовая модель программы, которая представляет собой ориентированный граф $G(x, u)$, вершины которого x соответствуют различным шагам программы. Вершины связаны между собой дугами u , представляющими собой переходы в программе. Каждой вершине графа x_i присваивается некоторое значение аргумента t_{ij} , которое равно времени выполнения x_i шага программы j -й микропроцессорной БИС. Значение t_{ij} выбирается из табл. 4. Каждой дуге U_{ij} графа соответствует определенное в техническом задании значение вероятности перехода P_{ij} .

3. Определяется среднее значение времени выполнения программы микропроцессорными БИС, представленными в табл. 3:

$$T_{\text{пр}j} = \sum_{i=1}^k t_{ij} f_i \quad (3)$$

где $i = 1, k$ — номер вершины графовой модели программы;

f_i — частота повторения вычисления i -го шага программы при ее разовом переходе.

Значение t_{ij} — i -я строка табл. 3. Частота повторения вычислений f_i определяется следующим образом:

$$\dot{f}_i = \dot{f}_j P_{ij}, \quad (4)$$

где \dot{f}_j — частота повторения предыдущего j -го шага программы;
 P_{ij} — вероятность выполнения i -го шага программы после j -го шага.

Таблица 4

Временные параметры микропроцессорных БИС

№ п/п	Тип микро- процессорных БИС	Время выполнения микрокоманд, мкс							
		Умно- же- ние	Слож- же- ние	Вы- чита- ние	Пересылки			Логи- чес- кие	Сдви- ги
					P_r	$P_{\text{л}}$	$P_{\text{л-п}}$		
1	КР 1802 ВС1	4,0	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,2	0,2
2	КР 1804 ВС2	2,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1
3	К 1800 ВС1	0,6	0,03	0,03	0,03	0,09	0,09	0,03	0,03
4	КР 580 ИК80	8,0	0,4	0,4	0,4	1,2	1,2	0,4	0,4
5	КР 588 ВС2А	20,0	1,0	1,0	1,0	3,0	3,0	1,0	1,0
6	КР 1802 ВР2	2,0	—	—	—	—	—	—	—
7	КР 1802 ВР3	0,2	—	—	—	—	—	—	—
8	КР 1802 ВР5	0,2	—	—	—	—	—	—	—
9	КР 588 ВР1А	5,0	—	—	—	—	—	—	—

Если вершина имеет P входящих дуг, то частота повторения вершины

$$\dot{f}_i = \sum_{j=1}^P \dot{f}_j P_{ij}.$$

Частота повторения начальной вершины принимается равной «1». Частота повторения второй вершины $\dot{f}_2 = 1 P_{12}$ и т. д.

На основании полученных значений \dot{f}_i и данных табл. 4, в соответствии с (3), определяется время выполнения программы микропроцессорными БИС КР 1802ВС1; КР 1804ВС2; К 1800ВС1; КР 580ИК80 и КР 588ВС2А.

4. Полученные значения $T_{\text{пр}j}$ сравниваются со значениями T_d . Если $T_{\text{пр}i} < T_d$, то переходим к п. 6, если нет — к п. 5.

5. Определяется возможность уменьшения $T_{\text{пр}}$ либо с помощью распараллеливания вычислений, либо с помощью БИС, аппаратно реализующих арифметические операции, например, умножителей КР 1802ВР2-ВР5 и КР 588ВР1А, представленных в табл. 3. Для этого значение аргумента шага программы, выполняющего умножение, заменяется новым значением, соответствующим выбранному типу умножителя, и по формуле (3) находится значение $T'_{\text{пр}j}$. Если полученное значение $T'_{\text{пр}j} > T_d$, то использование БИС умножителей не обеспечивает требуемого времени выполнения про-

граммы. В этом случае обеспечить заданные временные требования можно распараллеливанием вычислений. Требуемое количество параллельно работающих микропроцессорных БИС j -го типа

$$K_{nj} = \lceil T_{прj} / T_d \rceil,$$

где $\lceil a \rceil$ — ближайшее к a большее целое число.

6. Вычисляется разрядность M_l , обеспечивающая заданную точность вычислений:

$$l = \lceil \log_2 (\Delta_{max} / \Delta) \rceil.$$

Для обеспечения разрядности l потребуется $K_{lj} = \lceil l/l_j \rceil$ микропроцессорных БИС j -го типа, где l_j — разрядность БИС j -го типа (см. табл. 3).

7. Общее количество микропроцессорных БИС j -го типа, обеспечивающих вычисление с требуемыми быстродействием и точностью: $K_j = K_{lj} K_{nj}$. Если наряду с распараллеливанием вычислений используются и аппаратные БИС, то они суммируются с K_j .

8. Определяется площадь монтажных плат проектируемого функционального узла на БИС j -го типа: $S_j = K_j S_{yj}$, где S_{yj} — установочная площадь БИС j -го типа.

9. Находится $P_{уд\ пот\ j}$:

$$P_{уд\ пот\ j} = K_j \cdot P_{пот\ j} / S_j.$$

Если $P_{уд\ пот\ j} > P_d$, корректируется значение площади монтажных плат: $S_j \geq P_{пот\ j} / P_d$.

Таким образом, в результате проведенных вычислений получаем набор значений площадей монтажных плат, каждая из которых соответствует реализации проектируемого функционального узла на микропроцессорных БИС определенной серии. Оптимальной будет считаться серия микропроцессорных БИС, обеспечивающая реализацию функционального узла в рамках требований, определенных в техническом задании при минимальной площади монтажных плат.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МИНИАТЮРНЫЕ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТЫ

Рассмотрим некоторые наиболее часто применяемые в РЭС миниатюрные навесные электрорадиоэлементы (ЭРЭ).

КОНДЕНСАТОРЫ

По назначению конденсаторы подразделяют на высокочастотные, разделительные, проходные, накопительные и фильтрующие. По характеристике диэлектрика различают конденсаторы бумажные,

слюдяные, керамические, стеклоэмалевые, электролитические и т. д. При обозначении типа конденсатора в конструкторской документации принят следующий порядок записи: слово «конденсатор», тип, вариант крепления, группа по ТКЕ (температурный коэффициент емкости), номинальное напряжение, номинальная емкость, допускаемое отклонение от номинальной емкости в процентах или класс точности, группа по интервалу рабочих температур, номер ТУ или ГОСТа. Выпускают конденсаторы постоянной емкости следующих классов точности: класс 0 имеет допуск $\pm 2\%$ от номинала, класс I — $\pm 5\%$, класс II — $\pm 10\%$, класс III — $\pm 20\%$.

Конденсаторы типа К53 (электрические оксидно-полупроводниковые) (рис. 1). Эти конденсаторы выпускаются промышленностью в семи модификациях. На рис. 1 приведен общий вид конденсатора типа К53—1, нашедшего наиболее широкое распространение. Его номинальная емкость может быть 0,033...160,0 мкФ, допускаемое отклонение от номинала $\pm 30\%$, напряжение постоянного тока 6...30 В, интервал рабочих температур от -80°C до $+85^\circ\text{C}$. Пример записи в конструкторской документации: «Конденсатор К53—1—15 3,3 $\pm 20\%$ ». Конденсаторы К53—3 используют в микромодульных конструкциях, а конденсаторы К53—6—для печатного монтажа.



Рис. 1. Конструкция конденсатора типа К53-1



Рис. 2. Конструкция конденсатора типа К50-6

Конденсаторы типа К50 (электролитические алюминиевые). Эти конденсаторы выпускают в нескольких конструктивных вариантах. На рис. 2 представлена конструкция конденсатора типа К50—6, предназначенного для установки на печатные платы. Этот тип конденсатора обладает номинальной емкостью 1,0...4000 мкФ с допускаемым отклонением от -20 до $+80\%$; напряжение источника тока 6...160 В, интервал рабочих температур от -10 до $+70^\circ\text{C}$. Пример записи в конструкторской документации: «Конденсатор К50—6—10 $\pm 20\%$ ».

Керамические конденсаторы получили широкое распространение в РЭС благодаря малым габаритным размерам, высокой надежности и стабильности. Они предназначены в основном для работы в цепях высокой частоты.

По значению ТКЕ керамические конденсаторы разделяют на

группы, отличительные цвета покрытия которых представлены в табл. 5.

Таблица 5

Группы ТКЕ керамических конденсаторов

Группа ТКЕ	ТКЕ · 10 ⁻⁶ на 1°С в интервале рабочих температур	Цвет покрытия конден- сатора	Цвет маркиро- вочной точки
МПО	0 ± 30	Серый	—
П 33	+ (33 ± 30)	—>—	—
П 120	+ (120 ± 30)	Синий	—
М 47	— (47 ± 30)	Голубой	—
М 75	— (75 ± 30)	—>—	Красный
М 330	— (330 ± 100)	Красный	—
М 700	— (700 ± 100)	—>—	—
М 750	— (750 ± 100)	—>—	—
М 1300	— (1300 ± 200)	Зеленый	—
М 1500	— (1500 ± 200)	—>—	—
М 2200	— (2200 ± 500)	—>—	Серый
Н 30	—	Оранжевый	Зеленый
Н 50	—	—>—	Синий
Н 70	—	—>—	—
Н 90	—	—>—	Белый

Конденсаторы типа КЛС (литые, секционные). Эти конденсаторы выпускают четырех видов: КЛС—1 (зеленая окраска), КЛС—2 (фиолетовая окраска), КЛС—3 (белая окраска) и КЛС—Е (повышенной надежности). Изготавливают конденсаторы типа КЛС по II и III классам точности. Конструктивно их выполняют в двух вариантах (рис. 3, а, б). Пример записи в конструктор-

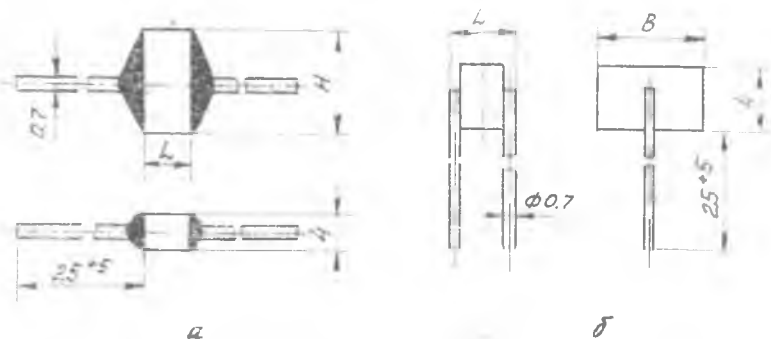


Рис. 3. Конструкция конденсатора типа КЛС

ской документации: «Конденсатор КЛС—2—а—М75— $20 \pm 20\%$ ».

Конденсаторы типа КМ (монокитные). Данные конденсаторы по удельной емкости значительно превосходят другие типы керамических конденсаторов. По конструкции выводов, массе и габаритным размерам конденсаторы КМ разделяют на несколько видов: КМ—3 — неизолированные с разнонаправленными выводами (рис. 4,а); КМ—4 и КМ—6 — неизолированные и изолированные с однонаправленными выводами (рис. 4,б); КМ—5 — не-

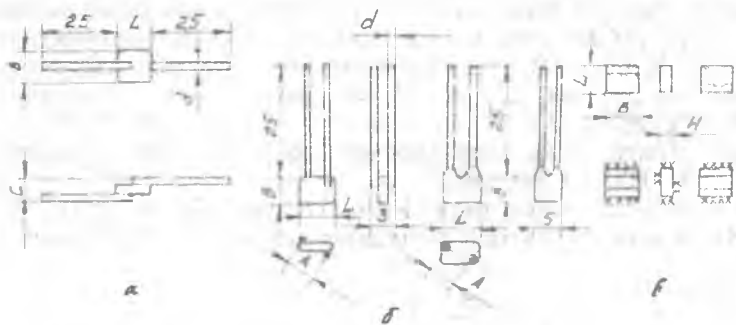


Рис. 4. Конструкция конденсатора типа КМ

изолированные нелуженые и луженые без выводов (рис. 4,в). Основные параметры монокитных конденсаторов и условия их эксплуатации представлены в табл. 6. Например запись в конструкторской документации: «Конденсатор КМ—6—Н90— $0,1 \pm 20\%$ ».

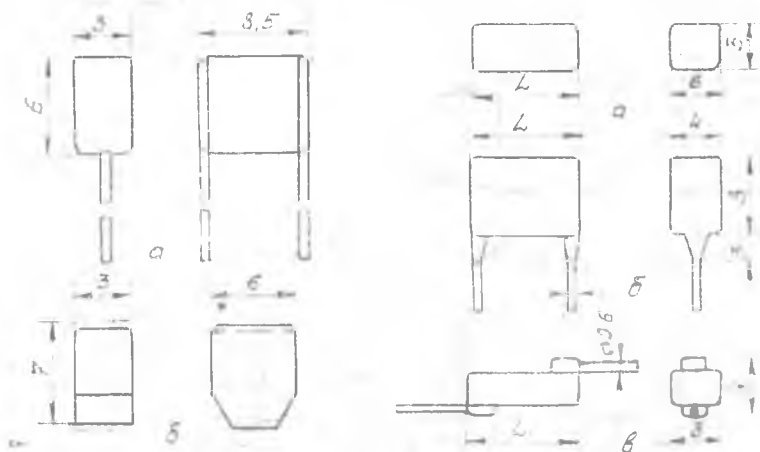


Рис. 5. Конструкция конденсатора типа К21-5

Рис. 6. Конструкция конденсатора типа К22У-1

Конденсаторы стеклянные типа К21—5. Эти конденсаторы выпускаются промышленностью в двух конструктивных вариантах (рис. 5,а,б). Пределы номинальных емкостей этого типа конденсаторов 2,2 ... 330 пФ, номинальное напряжение 70 ... 160 В, группы ТКЕ: МПО, М47, М75, М330. Пример записи в конструкторской документации: «Конденсатор К21—5—Б—М47—70—39±10%».

Конденсаторы стеклокерамические типа К22У—1. Эти конденсаторы выпускают в трех конструктивных вариантах: К22У—1А (таблеточный) (рис. 6,а), К22У—1Б (изолированный) (рис. 6,б), К22У—1В (неизолированный) (рис. 6,в). Пределы номинальных емкостей 22 ... 15000 пФ; номинальное напряжение 12, 35, 70, 100, 160 и 250 В, группы ТКЕ: МПО, М47, М330 и Н30. Пример записи в конструкторской документации: «Конденсатор К22У—1В—Н30—4700±10%».

Конденсаторы типа К10—17 (рис. 7) и типа К10—9 (рис. 8). Эти конденсаторы обладают самыми миниатюрными раз-

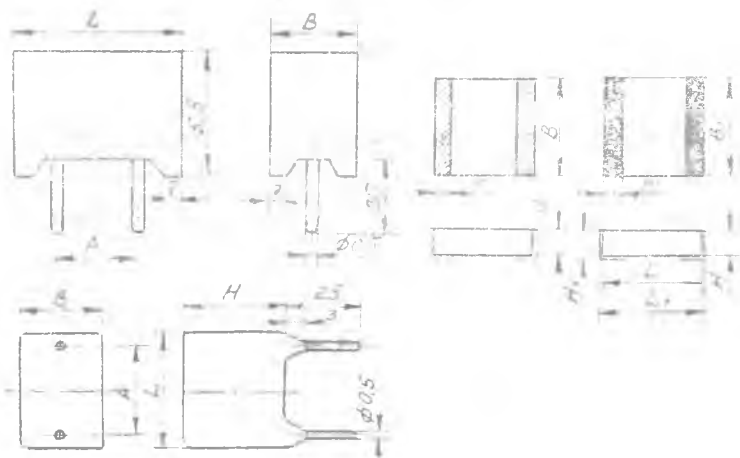


Рис. 7. Конструкция конденсатора типа К10-17

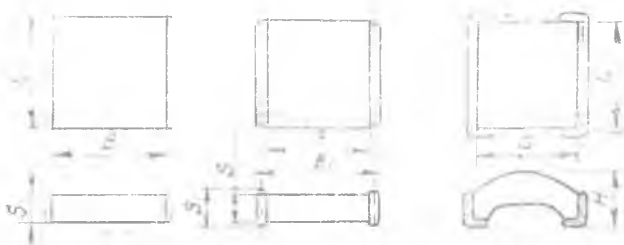


Рис. 8. Конструкция конденсатора типа К10-9

Таблица 6

Параметры керамических конденсаторов типа КМ

Тип конденсатора	Параметры			
	Группа по ТКЕ	Номинальная емкость	Номинальное рабочее напряжение, В	Реактивная мощность, вар
КМ-3	Н30	670пФ	160-250	0,5-2,0
	Н33, М47	0,022пФ		
КМ-4	М75, М750, М1500	16-3600пФ	100-250	10-40
	Н30	1500пФ 0,47мкФ		
КМ-5	Н33, М17, М75, М150, М1500	75-5300пФ 4700пФ	50-160	10-40
	Н30	0,068мкФ		
		0,015		
	Н90	0,15мкФ		
КМ-6	Н90	0,1-1,0мкФ	35	0,5-2,0

Габаритные размеры			Масса, г	Диапазон рабочих температур, °C
L	B	H		
1 12	1 12	3 5	0,5 3,0	-60 .. +125
				-60 .. +155
				-60 +125
				-60 +155
4 14	4 14	0,7 5,0		-60 +125
				-60 +85
8 14	8 18	6	1,5 4,0	-60 +85

мерами и выпускаются двух типов с нормированным (группы ПЗЗ, М47, М75, М750 и М1500) и ненормированным (группы Н30 и Н90) ТКЕ. Допустимые отклонения емкостей от номинальных значений для конденсаторов с нормированным ТКЕ составляют $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, с ненормированным ТКЕ от $\pm 50\%$ до -20% ; номинальное напряжение 25 В, интервал рабочих температур от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ конструкций приборов РЭС: Метод. указания / Сост. А. Н. Чекарев; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 20 с.
2. Иванов Э. И., Дремух Г. М., Петропавловский В. С. Производство элементной базы радиоэлектронной аппаратуры в США и Японии в 80-е годы // Обзоры по электронной технике. М.: ЦНИИ «Электроника», 1990, 104 с. (Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты. Вып. 5 (1571)).
3. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: Справоч. пособие / Под ред. С. В. Якубовского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь. 1984.
4. Березенко А. И., Корягин Л. П., Назарьян А. Р. Микропроцессорные комплекты повышенного быстродействия. М.: Радио и связь. 1981.

Составители: Че к м а р е в Анатолий Николаевич
П о л о в Павел Александрович

КОНСТРУИРОВАНИЕ НАДЕЖНЫХ РЭС

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 9.12.91 Подписано в печать 13.02.92 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 1,2. Усл. кр.-отт. 1,3. Уч.-изд. л. 1,25.
Тираж 300 экз. Заказ 837. Бесплатно

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тилография ЭОЗ Самарского авиационного института
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.