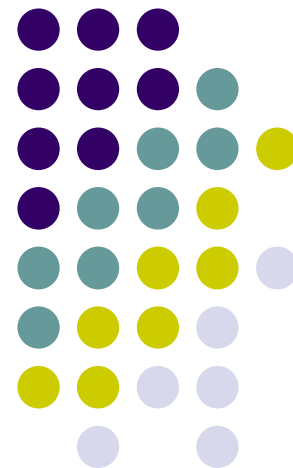


ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ



Основные понятия



- **Электрорадиоэлементы (ЭРЭ)** – это часть составной части РЭА, дальнейшее расчленение которой приводит к утрате самостоятельного значения в виде определенного преобразования сигнала.
- **Элемент схемы** – это составная часть схемы, которая выполняет определённую функцию в изделии, и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное значение.
- **Элементный базис** – это совокупность элементов, используемых для построения аппаратуры заданного типа.
- **Электрорадиокомпоненты (ЭРК)** – это совокупность электронных и электромеханических изделий, поставляемых специализированными предприятиями разработчикам радиоэлектронных средств.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОКОМПОНЕНТОВ



Номенклатура электрорадиокомпонентов (ЭРК) не остается постоянной:

по мере развития науки, техники и технологий (каждые 7-10 лет) происходит её значительное обновление, определяющее появление нового поколения ЭРК и РЭС.

Появление каждого нового поколения связано с разработкой нового типа активного ЭРК, способного усиливать мощность электрических колебаний.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОКОМПОНЕНТОВ



- ***Первое поколение РЭС***

(с начала практического использования радиосвязи до конца 50-х годов XX века (1920-1950г))

РЭС на основе *электровакуумных приборов* (радиоламп) и характеризовалась большими габаритами и массой, значительным потреблением энергии, низким уровнем надёжности и большой трудоёмкостью изготовления

- ***Второе поколение РЭС***

(с начала 60-х до начала 70-х годов XX века)

РЭС на основе *полупроводниковых приборов* – транзисторов и диодов.

Аппаратура отличалась существенно меньшими массой, габаритными размерами и энергопотреблением и значительно более высокими надёжностью и приспособленностью к условиям серийного и массового производства

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОКОМПОНЕНТОВ



- **Третье поколение РЭС**

(с начала 70-х до начала 80-х годов XX века)

РЭС на основе *интегральных микросхем (ИМС) малой и средней степени интеграции.*

Это стало возможным благодаря разработке и использованию прогрессивных методов конструкторско-технологической интеграции компонентов, групповых процессов изготовления, а также методов автоматизированного проектирования.

- **Четвертое поколение РЭС**

(с начала 80-х XX века)

РЭС на основе *программируемых ИМС* большой и сверхбольшой степеней интеграции (БИС, СБИС), организованных в функционально законченные микропроцессорные комплекты (МПК).

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОКОМПОНЕНТОВ



- ***Пятое поколение РЭС***

(в настоящее время)

РЭС нового поколения отличается преимущественным использованием *цифровых методов обработки сигналов*.

Необходимая высокая (до тысячи мегагерц) рабочая частота активных элементов ИМС достигается за счёт большей (почти предельной) плотности их компоновки на поверхности кристалла, а также использованием новых активных компонентов (переходов Джозефсона, трёхмерных ИМС на основе молекулярной электроники, одноэлектронных активных приборов, биологических структур и др.)

В современных РЭС в разной степени присутствуют активные компоненты всех поколений, а также различные пассивные дискретные компоненты, электрические и конструктивные параметры которых, а также технологии изготовления менялись в процессе смены поколений активных ЭРК.

Конструкторско-технологические показатели РЭС I – V поколений



Показатель	Поколение РЭС				
	I	II	III	IV	V
Элементная база	Электривакуумные лампы	Полупроводниковые приборы, миниатюрные ЭРЭ	Интегральные схемы малой степени интеграции (ИС1 и ИС2)	БИС СБИС микрополосковые линии, бескорпусные элементы	Большие гибридные микросборки, БИС, СБИС и ИФЭ
Степень интеграции изделий	Дискретные элементы	Дискретные элементы	$10^1 \dots 10^2$	$10^3 \dots 10^4$	$10^5 \dots 10^6$
Метод конструирования	Функционально-узловой			Функционально-модульный	
Монтаж	Объемный провод	Одно- и двухсторонний печатный монтаж	Многослойный печатный монтаж	Шлейфовый и многослойный печатный монтаж	Многослойный
Конструкция блока	Блочная конструкция определенного назначения	горизонтальные и вертикальные шасси, модульные конструкции	С ячейками разъёмной или книжной конструкции	С ячейками разъёмной или книжной конструкции, в том числе герметичные	

Поколение I (1920-1950г)

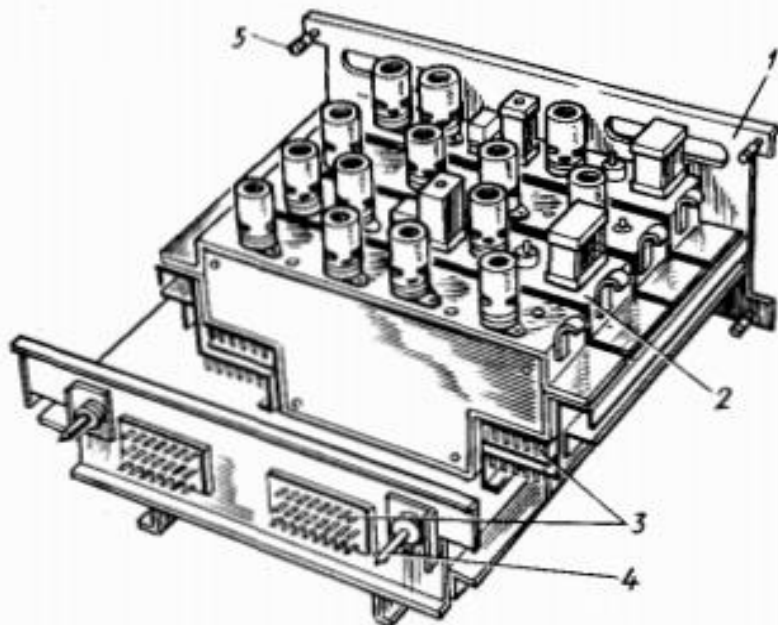
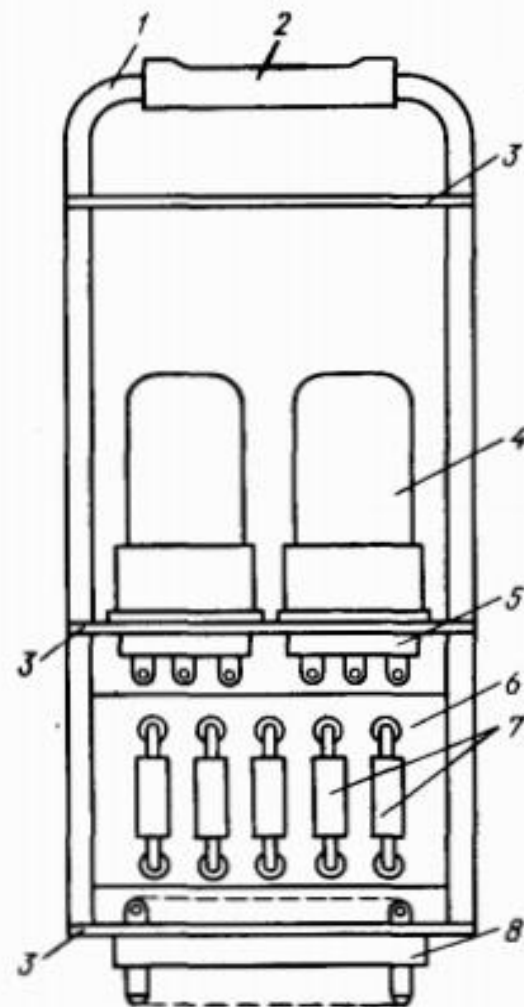


Рис. В.2. Конструкции РЭС первого поколения:

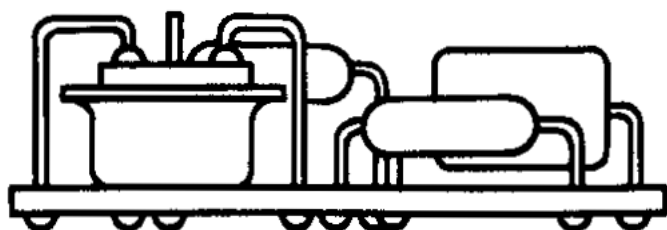
1—основание с передней и задней панелью; 2—функциональные модули с электровакуумными лампами; 3—разъемные соединители для подключения модулей и внешних связей; 4—направляющие штыри; 5—винты крепления блока в стойке

Рис. В.3. Компоновка ячейки аналоговой ЭВМ первого поколения:

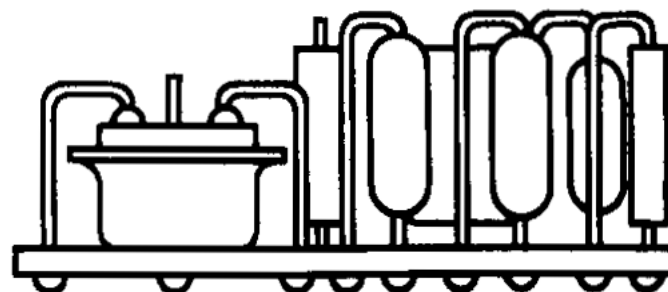
1—рамка; 2—ручка; 3—поперечины; 4—электровакуумные лампы; 5—ламповая панелька; 6—печатная плата; 7—ЭРЭ; 8—соединитель с плоскими контактами



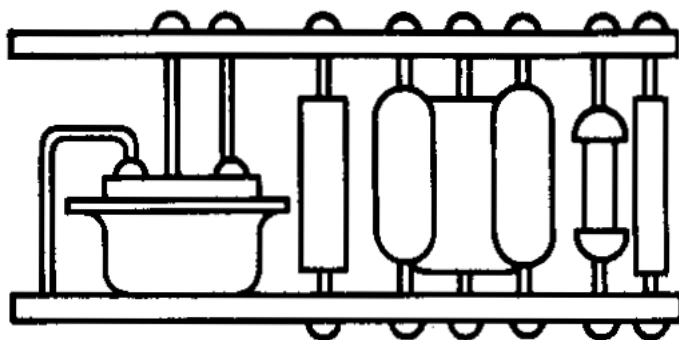
Поколение II (1950-1960г)



a)



б)



в)

Рис. В.4. Компонентные схемы модулей на печатных платах:

a — горизонтальное, *б* — вертикальное, *в* — этажерочное расположение деталей между платами

Поколение II (1950-1960г)

(продолжение)

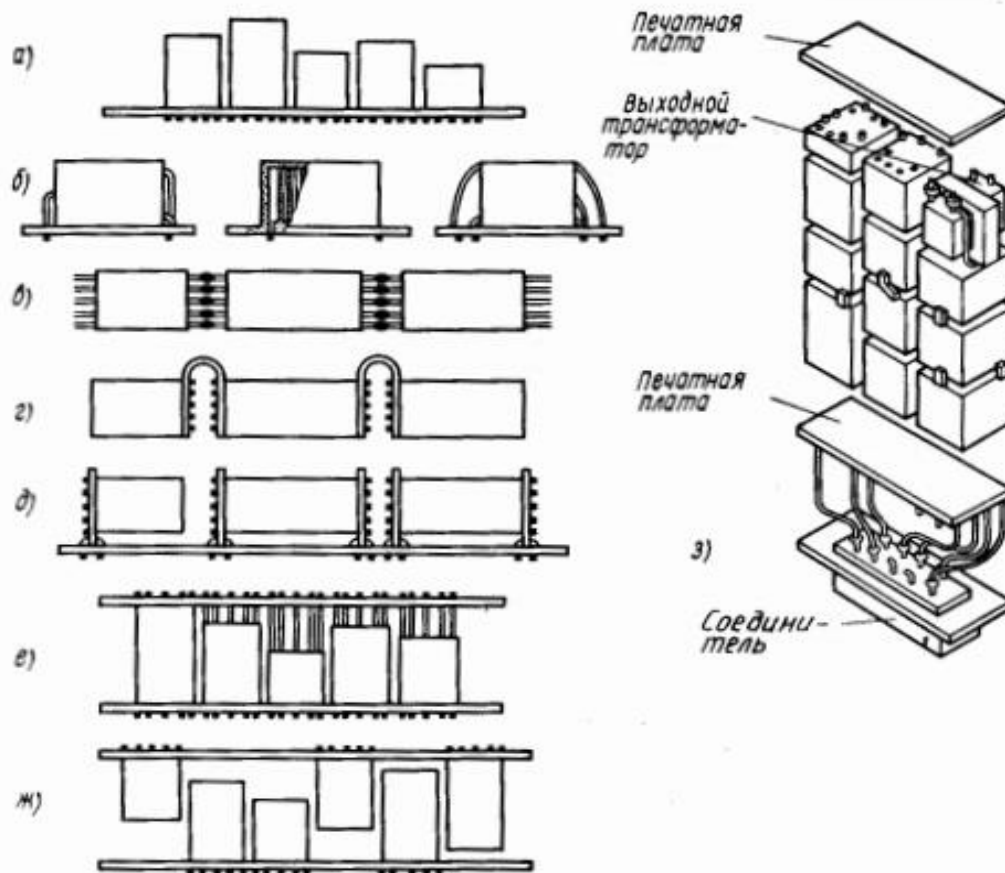
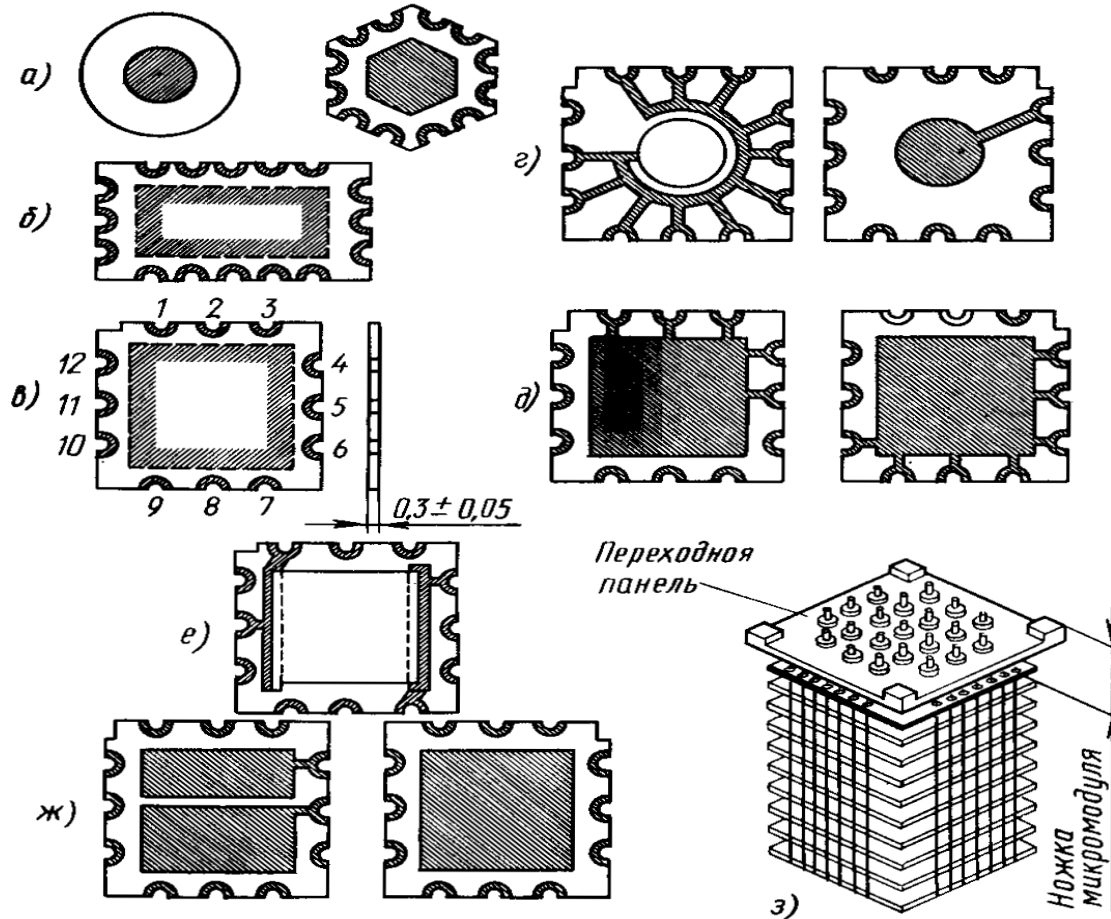


Рис. В.8. Варианты компоновки этажерочных микромодулей:

а — вертикальная; *б* — горизонтальная; *в* — «встык»; *г* — с использованием промежуточного монтажа; *д* — с торцовыми переходными печатными платами; *е* — двухплатная; *ж* — двухплатная с односторонним подключением модулей; *з* — компоновка приемника на этажерочных микромодулях

Поколение II (1950-1960г) (продолжение)



5. Характерная форма микроплат (а—в), примеры плат-полуфабрикатов —ж), этажерочный микромодуль с 28 ленточными соединениями (з)

Поколение II (1950-1960г)

(продолжение)

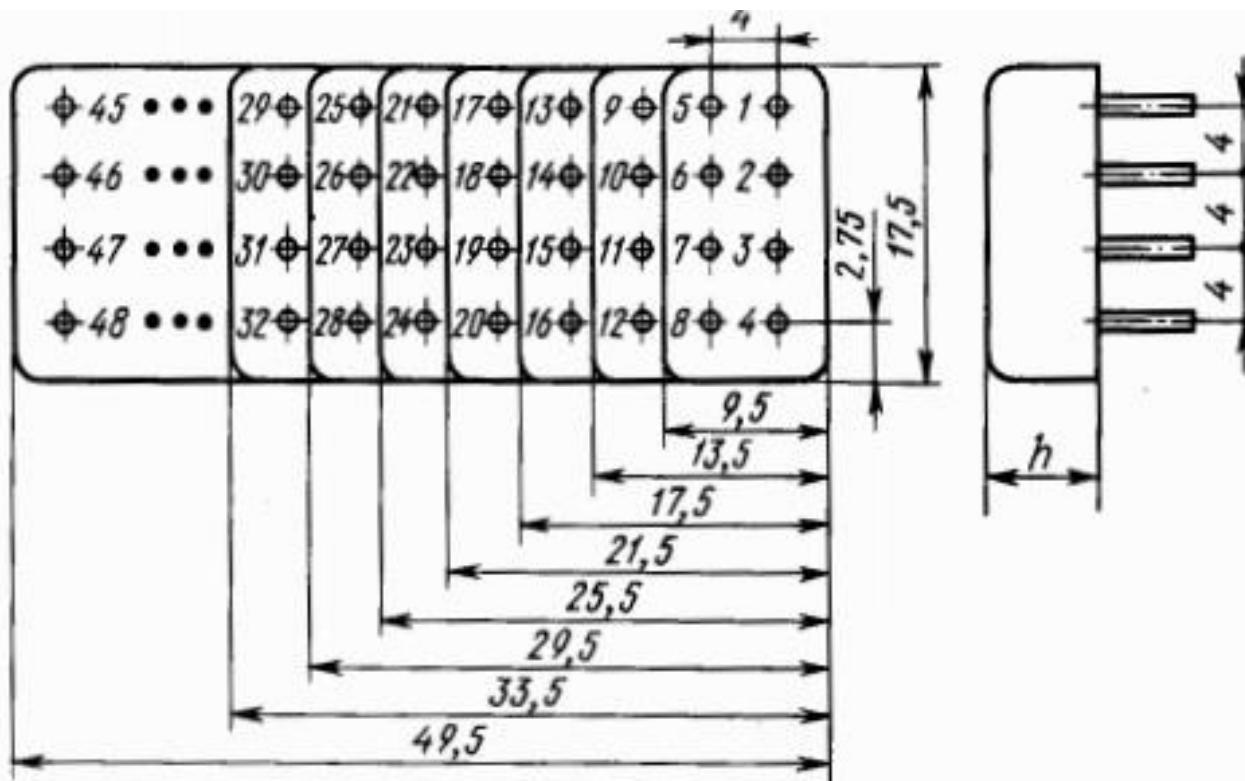


Рис. В.6. Унификация размеров плоских модулей ($h=3,5...10,5$ мм)

Поколение II (1950-1960г) (продолжение)

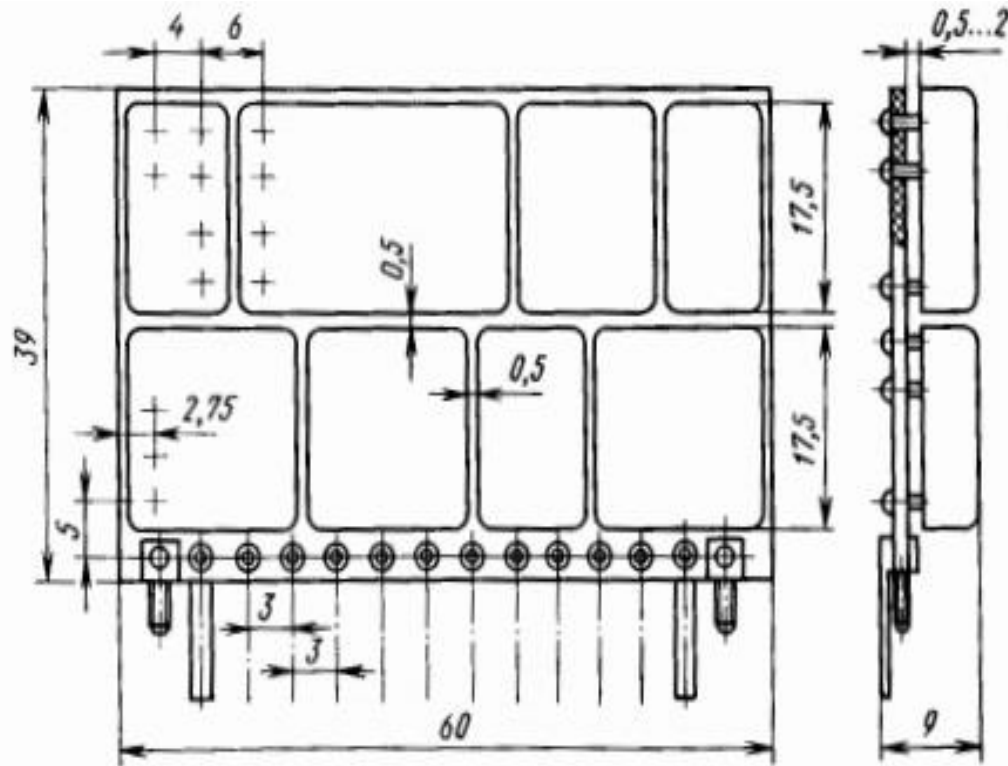
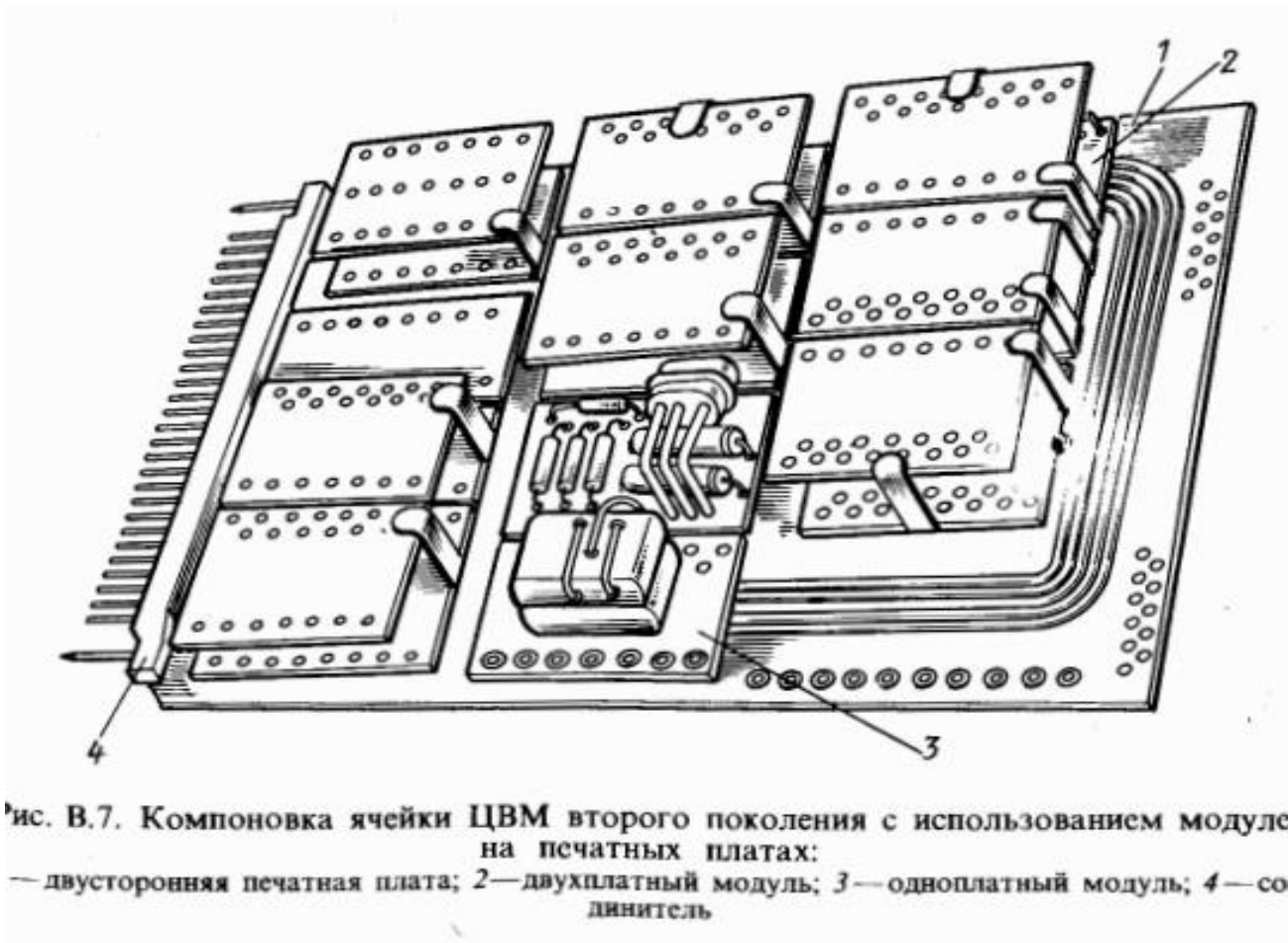
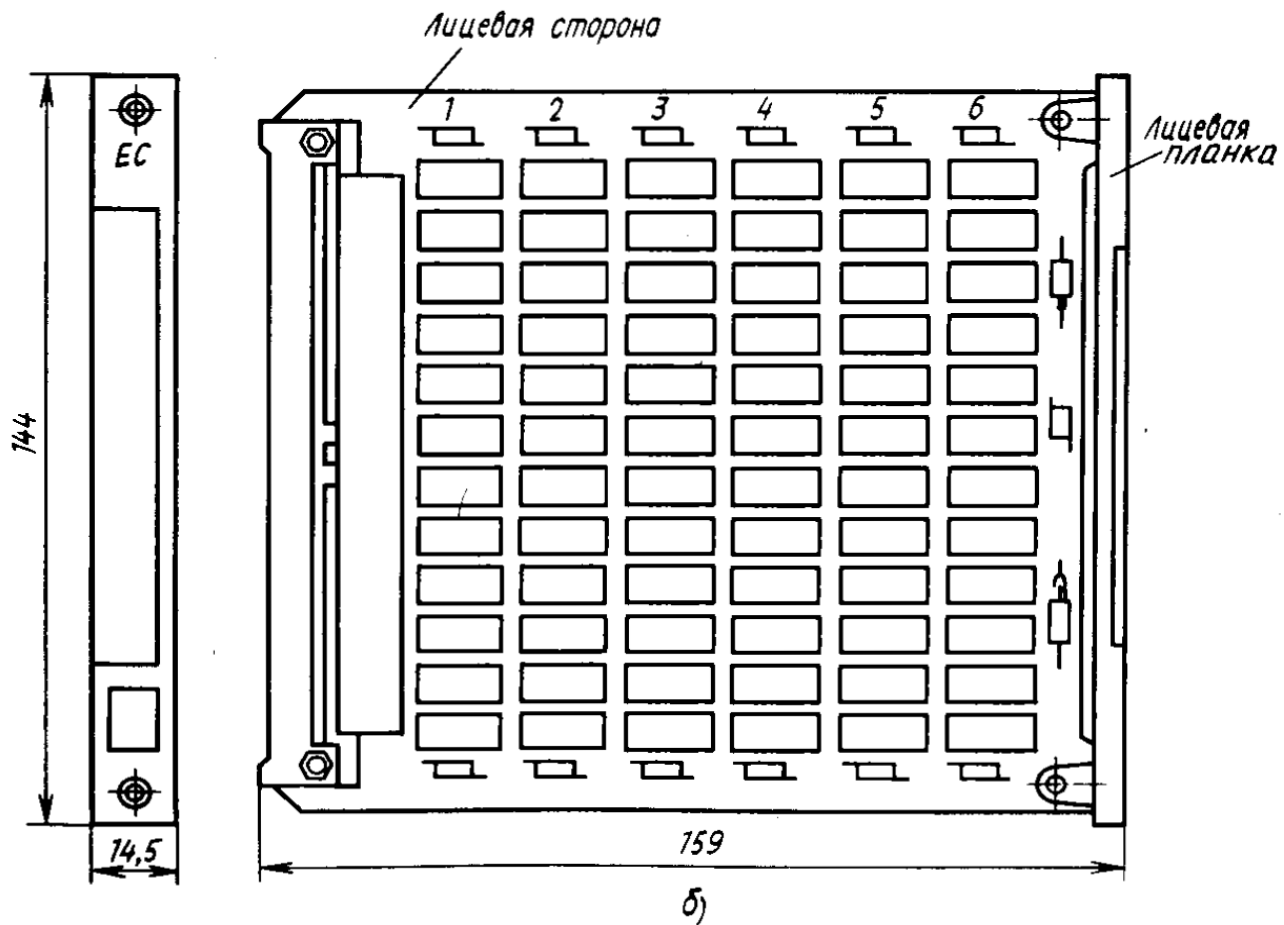


Рис. В.9. Компонка функционального узла на плоских микро модулях

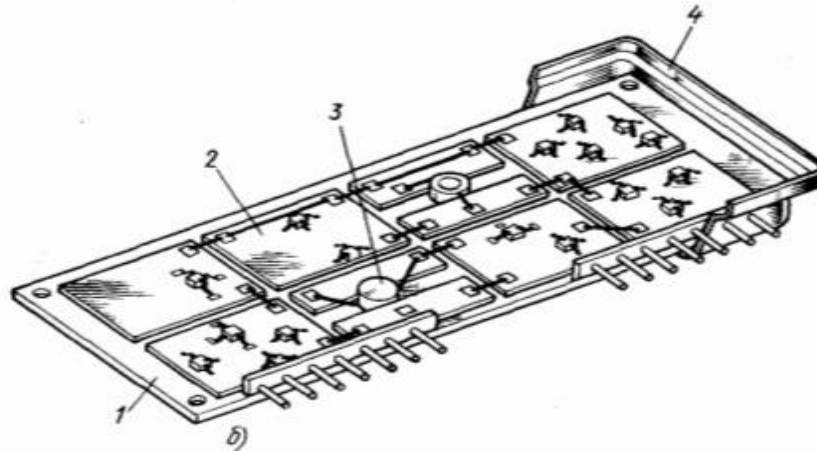
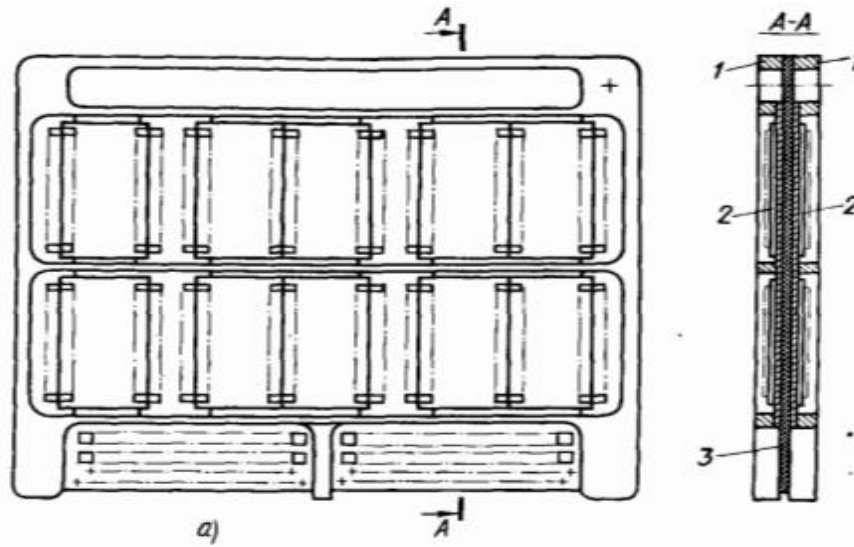
Поколение II (1950-1960г) (продолжение)



Поколение III (1960-1970г)



Поколение IV (1970 – 1980...)



Основные типы электронных компонентов



- **Активные компоненты** — это компоненты, которым нужен источник энергии (транзисторы, интегральные микросхемы, электровакуумные приборы, диоды и т.п.)

основным свойством активных компонентов является выполнение различных операций (усиление, преобразование, детектирование сигнала и др.) с использованием дополнительных источников электрической энергии.

- **Пассивные компоненты** — эти компоненты не являются источниками энергии и не могут усиливать сигналы в электрических цепях (резисторы, конденсаторы, индуктивности, трансформаторы, устройства коммутации, пьезоэлектрические устройства и т.п.),

основным свойством пассивных компонентов является выполнение простейших операций (увеличение сопротивления протекающему току, накопление электрического заряда и т.п.) без использования дополнительных источников электрической энергии.

Основные типы электронных компонентов (продолжение)



- **Электромеханические устройства** — механические устройства, которые управляются электрическими сигналами, или передают их (разъёмы, реле, переключатели, двигатели и т.п.).
- **Устройства и узлы функциональной электроники** — непосредственное исполнение требуемой функциональной зависимости (устройства на ПАВ, хемотроника, магнитный ядерный резонанс и т.п.)

Все ЭРК независимо от вида и области применения характеризуются совокупностью электрических, конструктивных и эксплуатационных параметров, определяющих возможность их применения в конструкциях РЭС.

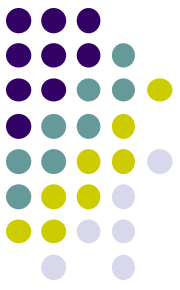
- **Элементы общего применения** (широкая нормализация и стандартизация, массовое производство)
- **Специальные элементы** (проектируются применительно к требованиям конкретного устройства)

Основные типы электронных компонентов (продолжение)



- **На этапе проектирования электрических схем РЭС электрорадиокомпоненты являются средствами проектирования, выбор видов которых в основном зависит от их функциональных характеристик, а также электрических и частично эксплуатационных характеристик.**
- **На этапе проектирования конструкции и технологий изготовления РЭС - электрорадиокомпоненты являются объектами защиты, для которых необходимо обеспечить допустимые условия эксплуатации и, следовательно, *выбор их типов и типоразмеров* в основном определяются их конструктивными и эксплуатационными параметрами.**

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОРАДИОКОМПОНЕНТОВ



- **номинальное значение основного параметра**, определяющее их функциональное назначение (сопротивление для резистора, емкость для конденсатора, коэффициент передачи по току транзистора, прямой ток диода и пр.)
- **допуск на номинальное значение основного параметра** (его абсолютное или относительное отклонение)
- **стабильность номинального значения основного параметра** (временная, температурная)
- **предельные значения рабочих напряжений, токов, мощности** (*параметры, характеризующие электрическую прочность и способность выдерживать электрическую нагрузку*)
- **паразитные параметры** (*параметры характеризующие потери*)
- **параметры характеризующие надёжность и долговечность**
- **массогабаритные параметры** (габариты и вес)
- **Стоимость**

Номинальное значение основного параметра



Номинальное значение величины основного параметра, характерного для данного элемента :

- сопротивление для резистора,
- емкость для конденсатора,
- индуктивность для катушек индуктивности,
- коэффициент передачи по току транзистора,
- прямой ток диода и пр.

Величины основных параметров нормализованы.

- Численные значения параметров типовых элементов устанавливаются рядами предпочтительных чисел.
- **Для номинальных значений** параметров типовых элементов схем наиболее употребительны **ряды предпочтительных чисел**, которым присвоены обозначения **E6, E12, E24** и т.д.

Использование рядов предпочтительных чисел :

- сокращает количество номиналов,
- уменьшает число типоразмеров
- удешевляет производство.

Допуск на номинальное значение основного параметра



- Абсолютное отклонение основного параметра
- Относительное отклонение основного параметра

Допускаемое отклонение фактической величины от номинальной определяется допуском или классом точности

Наиболее употребительны следующие классы точности:
 $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$,

Предельные значения рабочих напряжений, токов, мощности



Способность элемента выдерживать электрические нагрузки характеризуется **электрической прочностью** и **номинальной мощностью**.

Электрическая прочность – характеризуется

- **номинальным напряжением**, т.е. максимальным напряжением, под которым при нормальных условиях элемент может находиться в течение гарантированного срока службы.
- Если по условиям эксплуатации (например для повышения надёжности) напряжение должно быть снижено, то такое **напряжение называется рабочим или допустимым**

Для большинства элементов указывается **номинальное напряжение постоянного тока**

Допускаемое напряжение переменного тока меньше номинального напряжения постоянного тока

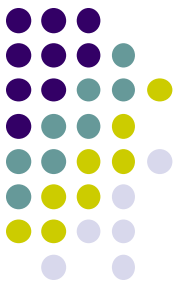
Предельные значения рабочих напряжений, токов, мощности (продолжение)



Электрическая прочность *в условиях перенапряжения* характеризуется:

- **Испытательным напряжением**, т.е. таким максимальным напряжением, под которым элемент может находиться небольшой промежуток времени, например несколько секунд;
- **Пробивное напряжение** – таким минимальным напряжением, при котором наступает пробой диэлектрика

Предельные значения рабочих напряжений, токов, мощности (продолжение)



Номинальная мощность - называют максимально допустимую мощность, которую элемент может рассеивать в течение гарантированного срока службы при непрерывной электрической нагрузке в определённых условиях окружающей среды (температуры, влажности и атмосферного давления) и условия, что напряжение на элементе не превышает максимально допустимого.

Номинальная мощность определяется допускаемой температурой перегрева элемента над окружающей средой. (при нагрузке элемента мощностью, большей, чем номинальная, происходит значительный перегрев и как следствие недопустимое изменение его параметров)

С целью повышения надёжности нагрузку на элемент стремятся уменьшить и соответствующую **мощность** называют **допускаемой**

Стабильность номинального значения основного параметра



Значение параметров ЭРК могут изменяться при хранении и эксплуатации.

Эти изменения могут быть **обратимыми** или **необратимыми** в следствии физико-химических процессов, развивающихся в материале ЭРК под влиянием неблагоприятных факторов условий эксплуатации (колебаний температуры, влажности, механических и радиационных воздействий).

Обратимые – при которых в соответствии с изменением какого-либо воздействия закономерно меняется параметр. (ТКЕ, ТКС, ТКИ...)

$$\alpha = \frac{\Delta X}{X \Delta T}$$

Необратимые изменения параметра – когда после многократных циклических изменений воздействия – параметр не возвращается к исходному значению

$$\beta = \frac{X - X_0}{X}$$

β -коэффициент нециклическости

Различают **временную** и **температурную нестабильность** параметров ЭРК.



Временная нестабильность

Временная нестабильность связана с постоянными *деградационными процессами*, происходящими в материалах электрорадиокомпонентов:

- старением резисторов,
- образованием микротрещин в диэлектрике
- высыханием электролита в конденсаторах,
- различными видами коррозии и п.д.

Эти процессы приводят к необратимым изменениям параметров ЭРК.



Температурная нестабильность

Температурная нестабильность, связана с прогнозируемым обратимым изменением параметров ЭРК под влиянием изменения температуры окружающей среды, характеризуется температурным (ТК) нестабильности соответствующего параметра X , обозначаемым **ТК X** .

$$\text{ТК}X = \frac{\partial X}{\partial T} * \frac{1}{X} \quad \left(\frac{1}{\text{град С}} \right)$$

Количественная оценка нестабильности:

- **абсолютное отклонения** параметра X .
- **относительного отклонения** параметра X

Влияние температуры на надежность ЭРЭ



При повышении температуры с 20°C до 80°C интенсивность отказов возрастает у:

- электронно-выпрямительных приборов в 1,5 – 2 раза;
- резисторов в 2 – 3 раза;
- полупроводников в 3 – 4 раза;
- конденсаторов в 6 – 8 раз;
- микросхем в 6 – 10 раз.

Влияние температуры



Отрицательные температуры:

- Наибольшее влияние на работу приводов(и других подвижных узлов), т.к. при перепадах температур от + к – меняются натяги и зазоры в конструкциях
- На морозе сгущается смазка что ведет к увеличению силы трения и моментов в подвижных устройствах.

Положительные температуры:

- Падает электрическая прочность диэлектриков
- Падает сопротивление изоляции
- Растёт удельное сопротивление проводников
- Меняется емкость и индуктивность контуров и, следовательно, резонансная частота контура



Влияние влаги

В процессе производства, хранения и эксплуатации РЭС подвергаются воздействию различных факторов (пыли, грибков, агрессивных сред и т.д.). Защита от влаги является защитой и от этих факторов.

Влага обладает:

- высокой проникающей способностью (размер молекулы воды 25 нм);
- высокой химической активностью;
- диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 81$);
- электропроводностью (при наличии ионизированных примесей).



Влияние влаги на надежность РЭС

Воздействие влаги приводит к:

- параметрическим отказам;
- внезапным отказам.

Уменьшение параметрической надежности обусловлено искажением сигналов до уровня, при котором нормальное функционирование РЭС становится невозможным.

Увеличение интенсивности внезапных отказов уменьшает среднее время наработки аппаратуры на отказ и увеличивает стоимость ее эксплуатации.

Воздействие влаги на органические материалы



Органические материалы склонны к поглощению влаги через капилляры или путем диффузии и сопровождается явлениями:

- увеличением диэлектрической проницаемости ϵ ;
- увеличением потерь $\operatorname{tg}\delta$;
- уменьшением объемного сопротивления;
- уменьшением электрической и механической прочности;
- изменением геометрических размеров вследствие набухания.



Воздействие влаги на неорганические материалы

Неорганические материалы взаимодействуют с влагой, конденсирующейся или адсорбируемой на поверхности.

Воздействие влаги на металлы сопровождается явлениями, связанными с коррозией:

- разрушение паяных и сварных швов, что нарушает герметизацию и снижает механическую прочность;
- обрыв электромонтажных связей;
- увеличение сопротивления контактных пар, что ведет к увеличению шумов неразъемных и обгоранию разъемных контактов;
- уменьшение прочности и затруднение разборки крепежа, потускнением отражающих и разрушением защитных покрытий.

Воздействие влаги на гибридные и интегральные элементы РЭС



Влияние влаги на тонкопленочные пассивные элементы приводит к электролитической или химической коррозии; образованию закорачивающих перемычек; увеличению диэлектрической проницаемости; потерь и утечек в диэлектриках.

Влияние влаги на полупроводниковые бескорпусные компоненты ИС (транзисторы, диоды, "чипы") приводит к:

1. сорбции влаги поверхностью;
2. скоплению положительных зарядов (Na^+ и др.) на границе Si-SiO_2 ;
3. образованию слоя накопления зарядов в полупроводнике под влиянием поверхностных ионов.



Воздействие влаги на дискретные элементы РЭС

- Резисторы – постепенное увеличение или уменьшение номинального значения вплоть до обрыва или короткого замыкания, увеличение уровня шумов.
- Конденсаторы – увеличение сопротивления в цепи обкладок или обрыв; рост емкости, потерь, утечек; появление коротких замыканий обкладок; уменьшение пробивного напряжения.
- Индуктивность – уменьшение добротности вследствие увеличения собственной емкости и потерь в диэлектрике.
- Контакты и металлизация – обрыв, короткое замыкание, увеличение паразитных связей.

Стабильность номинального значения основного параметра (продолжение)



Абсолютное отклонение параметра X , в свою очередь, зависит от абсолютных отклонений первичных параметров, к которым относят физические и геометрические характеристики для данного ЭРК.

$$\Delta x = \sum_{i=1}^n A_i \Delta a_i,$$

где $A_i = \frac{\partial x}{\partial a_i}$ - коэффициент влияния абсолютного отклонения первичного параметра

Например: $R = \rho(l/S)$.

$$\Delta R^{(k)} = \pm A_\rho \cdot \Delta \rho^{(k)} \pm A_l \cdot \Delta l^{(k)} \pm A_S \cdot \Delta S^{(k)},$$

$$\text{где } A_\rho = \frac{\partial R}{\partial \rho}; A_l = \frac{\partial R}{\partial l}; A_S = \frac{\partial R}{\partial S}.$$



Стабильность номинального значения основного параметра (продолжение)

Относительное отклонение основного параметра

$$\delta_x = \Delta x / x_{\text{НОМ}}$$

$$\delta_x = \sum_{i=1}^n B_i \frac{\Delta a_i}{a_{i\text{НОМ}}} = \sum_{i=1}^n B_i \delta_{a_i}$$

где $B_i = A_i \frac{a_{i\text{НОМ}}}{x_{\text{НОМ}}}$ — коэффициент влияния относительного отклонения первичного параметра a_i .



Например, степень влияния температуры оценивают значением

$$\text{TK}_x = \frac{1}{x} \frac{dx}{dT}, \text{ 1/град.}$$

Связь между TK_x и температурными коэффициентами $\text{TK}a_i$ первичных параметров a_i получим, разделив правую и левую части уравнения для δ_x на ΔT и перейдя от конечных приращений к дифференциалам:

циентами $\text{TK}a_i$ первичных параметров a_i получим, разделив правую и левую части уравнения для δ_x на ΔT и перейдя от конечных приращений к дифференциалам:

$$\text{TK}_x = \frac{dx/dT}{x_{\text{ном}}} = \sum_{i=1}^n B_i \frac{da_i/dT}{a_{i_{\text{ном}}}} = \sum_{i=1}^n B_i \text{TK}a_i$$

В частности, температурный коэффициент сопротивления резисторов

$$\text{TKC} = B_\rho \text{TK}\rho + B_l \text{TK}l + B_S \text{TK}S.$$



