

微电子设备结构设计原理

[苏] A. П. 里纳舍夫 等著
张 伦 译

量 出 版 社

内 容 提 要

本书详细论述了以集成电路和微型电路为基础的微电子设备(即第四代电子设备)的结构设计问题。全书共分七章,内容包括微电子设备结构设计的一般问题、设备常用的元、器件、电气安装方法、设备的散热、防潮、屏蔽、防振和组装等。其中特别着重论述设备的电磁兼容和最优化设计。在说明各类设计方法时,一般都附有实例,并指出它们的优缺点和适用范围。此外,书中引入大量曲线图表,供设计时选用。

本书可供从事电子仪器制造及计算机制造的广大工程技术人员以及高等院校有关专业的师生阅读参考。

Основы Конструирования Микро-

электронной аппаратуры

Ненашев А.П., Коледов Л.А.

Радио и связь 1981

微电子设备结构设计原理

[苏]А.П.里纳舍夫 等著

张 伦 译

责任编辑 刘宝兰

*

计量出版社出版

(北京和平里 11 区 7 号)

北京京辉印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 9 1/4

字数 244 千字 印数 1—10000

1985 年 12 月第一版 1985 年 12 月第一次印刷

统一书号 15210·475

定价 1.90 元

译者的话

结构设计在电子设备和微电子设备的研制中占有十分重要的地位。结构设计得合理与否，直接影响着设备的可靠性和质量，因此，这个问题长期以来始终受到电子设备研制人员的关心和重视。

随着集成电路集成度及设备组装密度的不断提高，设备体积的日益减小，结构设计自然便成为提高设备的可靠性和质量以及延长设备寿命、降低制造成本的中心问题。这就要求设备的研制人员对设备的防潮、防振、屏蔽、组装、标准化及最优化设计等方面进行周密的考虑，从而作出科学的选择。本书就这方面的问题作了详细的说明。这是迄今为止国外已出版的论述这个问题的最新、且内容甚为丰富的专著。深信它的翻译出版对于促进国内微电子设备研制工作的顺利开展将起积极的作用。

本译文的第一章承著名电子测量专家、成都电讯工程学院张世箕教授校订，特在此向他表示诚挚的感谢。

鉴于原书涉及的内容十分广泛，加之原文在专业术语的运用上也欠统一，从而给翻译工作带来不少困难，尽管译校过程中在名词术语的订正上作了不少努力，但遗憾之处仍在所难免，切望读者不吝批评指正。

1984年10月

序 言

在苏共中央委员会向苏共 26 大提交的题为《1981~1985 年和 1990 年之前这段时期内，苏联经济和社会发展的主要方向》的草案中，作为最重要的任务之一提出了：“仪器制造业应在微电子学、光电子学和激光技术取得的最新成就的基础上，不断提高计算技术、自动化仪器和设备的技术水平”。这是苏共 24 大和 25 大决议的合乎逻辑的发展。在那两个决议中，把电子工业、无线电工业和仪器制造业看成是科学技术进步的催化剂，并指出，应用微电子学和先进的设计方法的成果，是提高物质资源利用效率的途径之一。

若不掌握电子设备结构设计的技能，要完成上述任务是不可思议的。同时还应当洞悉现代元件（其中主要是集成电路）的特点、生产的工艺可能性、保证元、部件电磁兼容性和热兼容性的设计方法以及现代组装方法。

电子设备的应用范围正在不断扩大，如果说，30~40年前电子设备主要是用在通信方面，那么目前它已广泛用于各个不同的领域。如用来控制生产^[1]、设计制造自动控制的宇宙飞行器等等。电子设备功能的复杂化又会增加它本身的元件数目、体积、重量、耗电量和成本以及降低可靠性。克服这些不利因素的方法之一，就是在电子设备中大量采用集成电路^[2,3]。这样的设备称之为微电子设备。

制造微电子设备的最重要阶段是结构设计。结构设计最终决定诸如体积和重量这样一些参数，并选定提高设备可靠性及降低成本的方法。微电子设备与采用分立元件的设备两者在结构设计上有着根本性的区别，而且结构最佳化的判据以及结构设计方法都有所不同。结构设计师和操作者之间必定体现出更加紧密的相互联系。此外，如不广泛应用计算技术，要制造微电子设备也是

不可能的。

在拟定微电子设备的结构时，必须比对前几代设备更加仔细地解决保证电磁兼容性和热兼容性、对气候作用和机械作用的防护这样一些任务，以及采取措施来保证生产和运行的成本低廉。

近年来，围绕微电子设备这个问题已出版了一系列书籍，如Л. Н. Преснухин, В. А. Шахнов, В. А. Кустов 所著《微型计算机结构设计原理》(1976年)；Б. Ф. Высоцкий 编写的《微电子设备的结构设计》(1975)；Б. И. Ермолалев 编写的《集成电路化的电子计算机功能部件的结构设计》(1978年)以及Р. Г. Варламов 编写的《无线电电子设备结构设计师手册》(1980年)等等。

与上列书籍不同，本书可供广大的结构设计人员阅读，其中包括初次从事制造现代电子设备的新手。作者试图以简要方式系统地论述微电子设备结构设计中的工程问题。限于篇幅，书中没有反映下列各方面的理论问题：最佳化判据的选择、结构的数学模型的建立方法、选择结构最佳化的最好方法以及微电子设备的美学装饰方法。

本书是通过对外国期刊文献上发表的大量实际材料进行审慎分析、综合而成。

全书由以下七章组成：

第一章论述了微电子设备结构设计的一般问题，包括结构特点、结构质量的判据、标准化的作用。第二章扼要讨论微电子设备目前使用的元件和有使用前景的元件的结构特点。第三章论述了在考虑到结构、电路和工艺各方面的因素时，电气安装的结构设计问题。第四章至第六章论述了热状态的保证、微电子设备结构的防潮和机械作用的防护等问题。第七章是作为对前六章所述内容的总结，其中讨论了微电子设备组装的一般方法和具体的组装结构方案。

目 录

序 言	(i)
第一章 微电子设备结构设计的一般问题	(1)
1.1 电子设备的结构特点	(1)
1.2 对微电子设备进行结构设计时 应考虑的一些因素	(13)
1.3 设备结构设计的一般方法	(15)
1.4 微电子设备结构设计方法的特点及其质量判据	(21)
1.5 微电子设备结构的效果评定	(26)
1.6 国家标准化体系、设计文件统一体系	(30)
第二章 微电子设备的元、器件	(37)
2.1 集成电路	(37)
2.2 对集成电路及其使用条件提出的要求	(43)
2.3 有外壳的集成电路的结构形式和安装特点	(46)
2.4 微电子设备的分立元、器件	(58)
2.5 无外壳电子元件及其在混合集成电路、微型组件 和微型功能块中的安装	(75)
第三章 微电子设备的电气安装	(104)
3.1 微电子设备电气安装的任务和特点	(104)
3.2 影响微电子设备元、部件电磁 兼容性的一些因素	(107)
3.3 电气安装连接线的电长度	(109)
3.4 信号在电长线上传播时的失真	(111)
3.5 电气安装连接线的寄生耦合	(116)
3.6 电气安装连接线的结构参数与电气参数之间的联系	(119)
3.7 数字装置电短线参数的允许值	(127)
3.8 在交叉干扰下, 数字装置电长线参数的允许值	(132)
3.9 放大器允许的寄生电容	(135)
3.10 对电气安装进行结构设计时所要解决的问题	

及其解决方法.....	(135)
3.11 印制安装的结构设计.....	(137)
3.12 用导线进行电气安装的结构设计.....	(164)
3.13 保证微电子设备具有抗干扰性的 一些结构设计方法.....	(174)
3.14 统一制式(EC)电子计算机的电气安装特点	(182)
第四章 微电子设备热状态的保证	(184)
4.1 热状态对微电子设备可靠性的影响	(184)
4.2 保证微电子设备正常热状态的方法	(188)
4.3 散热方法.....	(194)
4.4 在结构设计的初始阶段, 冷却方法的选择	(200)
第五章 微电子设备的防潮	(203)
5.1 湿气对微电子设备可靠性的影响	(203)
5.2 微电子设备的防潮方法	(204)
5.3 微电子设备防潮方法的选择	(216)
第六章 微电子设备对机械作用的防护	(219)
6.1 机械作用对微电子设备可靠性的影响	(219)
6.2 结构对机械过载的稳定性	(223)
6.3 减振系统的基本参数	(225)
6.4 减振器的结构和参数	(228)
6.5 减振系统的结构设计	(235)
第七章 微电子设备的组装	(241)
7.1 组装的内容、作用、方法和判据	(241)
7.2 电子设备组装电路的发展过程	(246)
7.3 第三代和第四代电子设备的组装特点	(255)

结束语

参考文献

第一章 微电子设备结构设计 的一般问题

1.1 电子设备的结构特点

目前，人们把用来接收、变换和传输以电磁信号形式表现的信息装置理解为电子设备。根据信号变化的特性，将信号分为连续信号和离散（脉冲）信号。若信号是不断变化着的，则称为连续信号；若信号取两个明显不同的值，则称为离散信号。连续信号（图 1.1）的特点是一些参数（幅度、相位、波形）在某个范围内不断变化。离散信号（图 1.2）的特点是有电压幅度跃变 ΔU （或电流幅度跃变 ΔI ）、前沿持续时间 $\tau_{\phi n}$ 、后沿持续时间 $\tau_{c n}$ 、脉冲宽度 τ_n 、重复周期 T 。连续信号具有零频率变化（直流）或以直到微波的频率作周期性变化。假如信号的波形不同于正弦波形，则它可以用若干个正弦信号之和来表示（用频谱表示）。

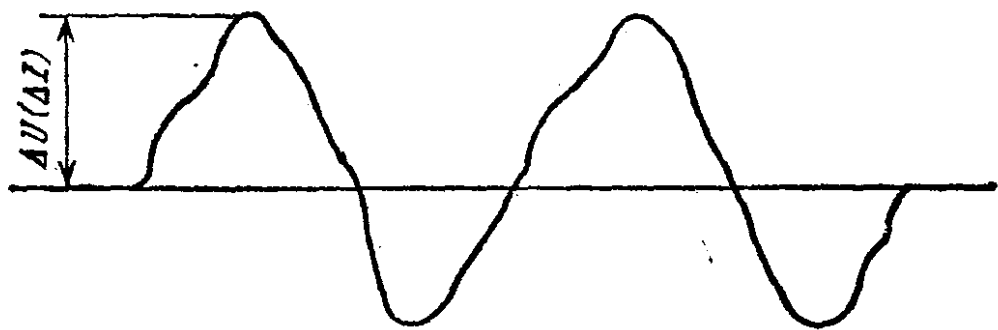


图 1.1 连续信号

信息由连续信号来传输的设备，称为模拟设备。若设备中的信息由离散信号来传输，则设备称为数字设备。

模拟设备与数字设备的组成方法有着本质上的区别。

自 19 世纪中叶起，借助电磁信号来传输信息的方法便得到应

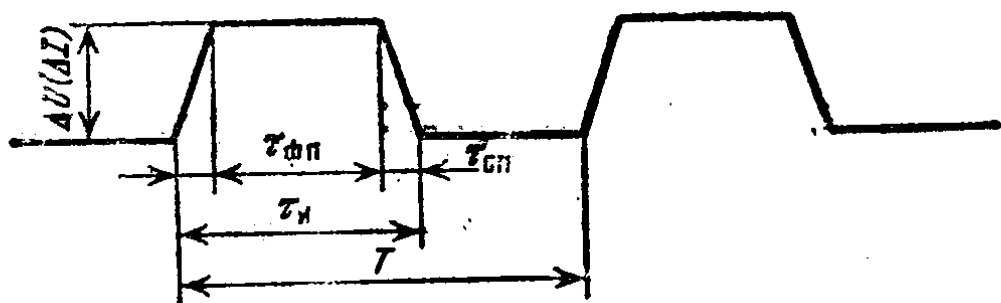


图 1.2 离散（脉冲）信号

用。随着信息的传输和变换方法的开展，用来传输和变换信息的设备的应用范围不断扩大，设备的构成型式也发生了变化。

最初的电子设备的结构与有线通讯设备相似（木箱、用绝缘导线安装、用螺钉接触）^[4]。由于在汽车和舰船上安装设备（1925～1935年），便导致必须用金属机架来提高无线电设备的强度以及屏蔽个别部件。随着电话通讯设备日益扩大的趋势，导致出现将复杂的设备分为若干简单部件及树立起结构级别的先进想法。为了防护坦克和飞机的设备使之不受气候的影响（1935～1945年），而研制出密封外壳；为了防止机械过载，而研制出减震器。1945～1960年期间，要求火箭设备有最小的体积和重量，又导致微型组件、印制电路板、半导体器件、同轴电缆和微带传输线以及集成电路的产生。

设备的进一步复杂化，便要求采用提高集成度的新方法，这时要借助一些按新原理进行工作的功能器件（如声电器件、光电器件、耿效应二极管、双极晶体管）。

随着元件的进化，电子设备的结构及其组装密度（用单位体积内的元件数表示）也发生了变化（表1.1）^[6,7]。由表1.1可见，广泛采用功能器件之后，预期组装密度会进一步明显增大。

任何结构都是由人用大量物体和材料以人工方法制成的，它是能完成给定功能并具有给定参数值的复杂组合体。

电子设备的结构有以下特点：

- 1) 必须保证各个元件和部件之间的电连接，机械连接仅起

表 1.1 几代无线电子设备组装体密度 (元件数/cm³) 的变化情况

结构设计级别	电子设备的分代									
	1		2			3		4~5		
	电子管		组 件		微 型 组 件		低集成度的集成电路		大规模集成电路 ^①	
	普通电子管	小型电子管	平面组件	立体组件	分型组件	平面型组件	混合集成电路	半导体集成电路	金属-绝缘体-半导体存储器	双极存储器
晶片(衬底)	—	—	—	—	—	—	80~100	5000	0.5 × 10 ⁶	(0.2~2) × 10 ⁶
功能部件(有外壳)	—	—	0.4~0.9	1.25~1.75	4~10	6~10	30~40	100~500	50000	5 × 10 ⁴ ~2 × 10 ⁵
功能块	—	—	0.1~0.3	0.7~0.9	1.2~3	2.5~3.5	3.5~10	10~50	1500~2000	1000~10000
(子功能块)	—	—	0.05~0.15	0.4~0.5	0.5~1.6	1.5~2.5	3.5~4	2.5~10	—	—
器件(直插式)	0.01	0.05	0.02~0.04	0.1~0.15	0.15~0.45	0.35~0.5	0.5~0.9	0.5~2	—	—

① 关于金属-绝缘体-半导体存储器的资料引自“Электроника”杂志, 1978, No. 24, 102页;

关于双极存储器的资料引自“Электроника”1978, No. 19, 34页, 1979, No. 9, 24页。

次要作用；

2) 外形与功能元、部件的内部组装之间的联系不密切，从而能将结构设计的这两个方面视为大致上是相互独立的；

3) 必须考虑有用信号的失真及出现虚假信号（干扰）的可能性；

4) 必须考虑热联系。通常，热联系会严重影响结构的参数。

上列特点是如此之重要，以致决定了把电子设备的结构设计分立为一门独立的知识领域。

电子设备的质量和效能、可靠性、重量-尺寸参数和耗能参数、生产和运行成本、功能的可能性等，在很大程度上都与结构有关。表 1.2 详细说明了元件的变更对电子计算机功能的影响。

应当把现代电子设备的结构看成是某种构件的组合物。它的各个部分都处于分级的并列从属关系，这就是将一些结构上比较简单的最终单位（单个分立元件、集成电路、微型组件）顺序连接成较复杂的单位而使结构复杂化。

结构分级能实现以下目的：

1) 依靠降低不可分割部件的集成度来减少生产中的废品；

2) 并行制造不同的部件，从而缩短产品的生产周期，并易于对生产过程进行监督管理；

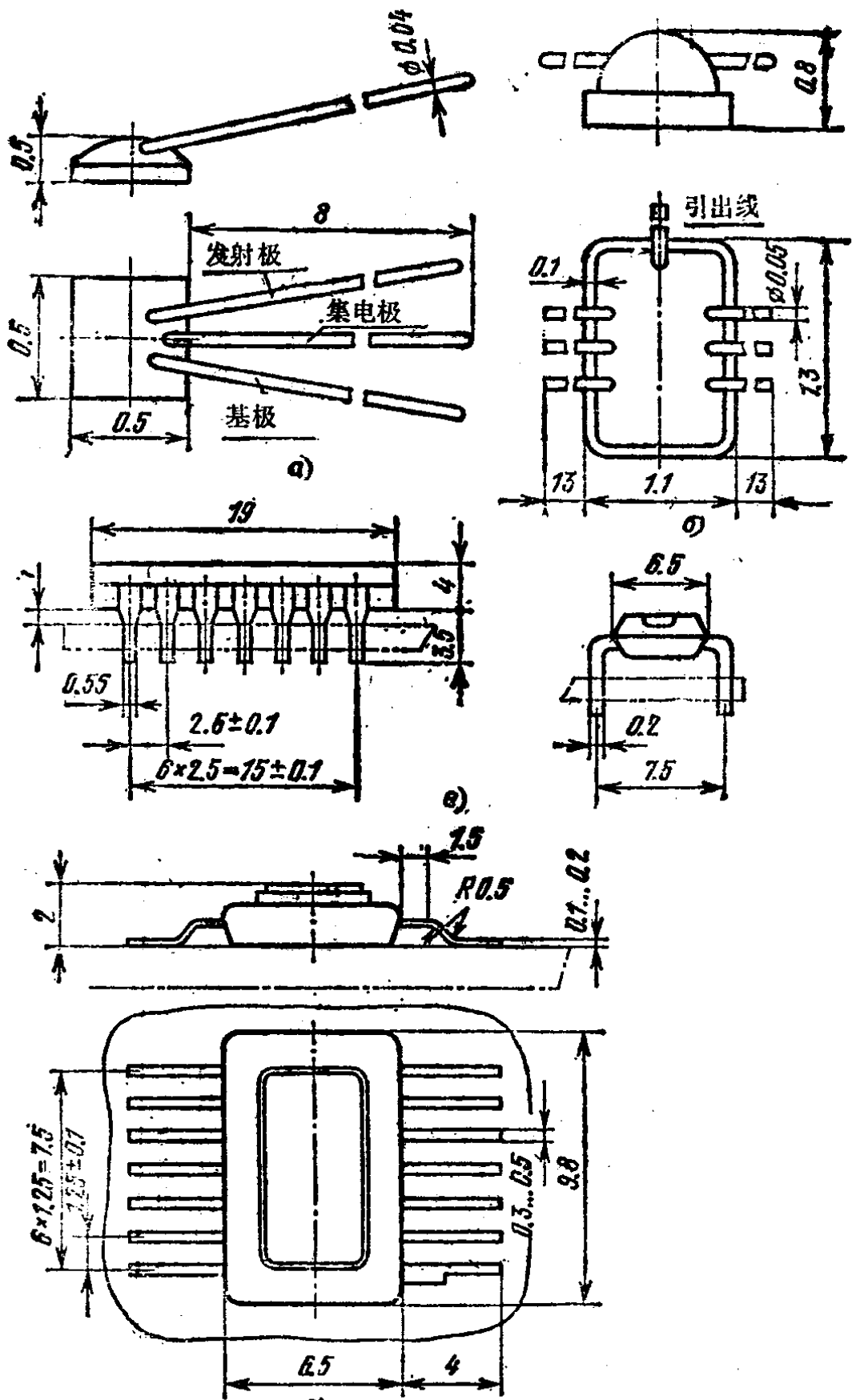
3) 在使用期间便于维修。

作为例子，我们来研究在经互会（СЭВ）集团内研制的国产*第三代驻定式电子计算机（EC电子计算机）的结构分级。零级是集成电路中所用的无外壳元件，包括电阻器、电容器和晶体管（图1.3a）；二极管装配件（图1.3b）；采用半导体工艺制成的薄片（晶片）。第一级是带插脚引出线（图1.3в）或平面引出线（图1.3г）的带外壳的集成电路，无外壳的混合集成电路

* 指苏联。——译者注

表 1.2 电子计算机的功能参数与元件、结构设计和工艺演进的关系

所属分代时间	结 构 和 工 艺	运 算 速 度 (操作次数/秒)	存储器容量 (字数)	电子计算机的编程特点和结构特点
第一代 (从 1944 年起)	继电器和电子管; 小规模单元块结构; 用焊接接触; 用导线安装	10^3	10^3	用机器代码手工编程
第二代 (从 1952 年起)	半导体器件; 小规模和中型模单元块结构; 用焊接接触; 双面印制电路板	10^4	10^4	用高级算法语言翻译, 自动编码, 成组处理信息
第三代 (从 1960 年起)	半导体集成电路和混合集成电路; 大规模单元块结构; 用焊接缠绕接触; 多层印制电路板; 多芯电缆; 尽可能不用导线	10^6	$10^5 \sim 10^7$	操作系统, 多种语言编程, 复杂的数学保证、时分状态工作, 电子计算机系列的程序兼容
第四代 (从 1968 年起)	大规模集成电路; 多层印制电路板, 印制软线, 尽可能不用导线, 集成电路用钎焊, 部件用烙焊	10^8	$10^8 \sim 10^9$	靠多重处理器系统简化数学保证, 对多重处理器系统的工作编程
第五代 (从 1990 年起)	大规模集成电路, 大规模功能块, 功能部件, 光电器件, 声电器件等	10^{12}	$10^{14} \sim 10^{20}$	按“做什么”而不是“怎样做”的原理编程, 自然语言, 内置数学保证



2) 图 1.3 外形尺寸图

а—KT-324 型无外壳的晶体管; б—кД-901 型无外壳的二极管阵列; в—К-155 系列集成电路; г—К-133 系列集成电路

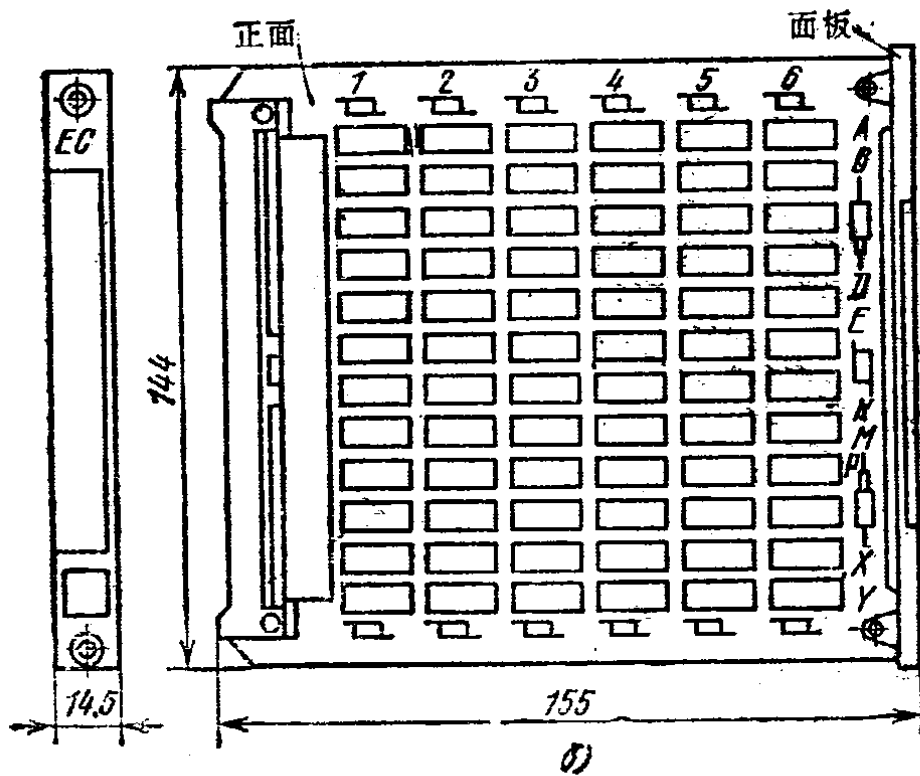
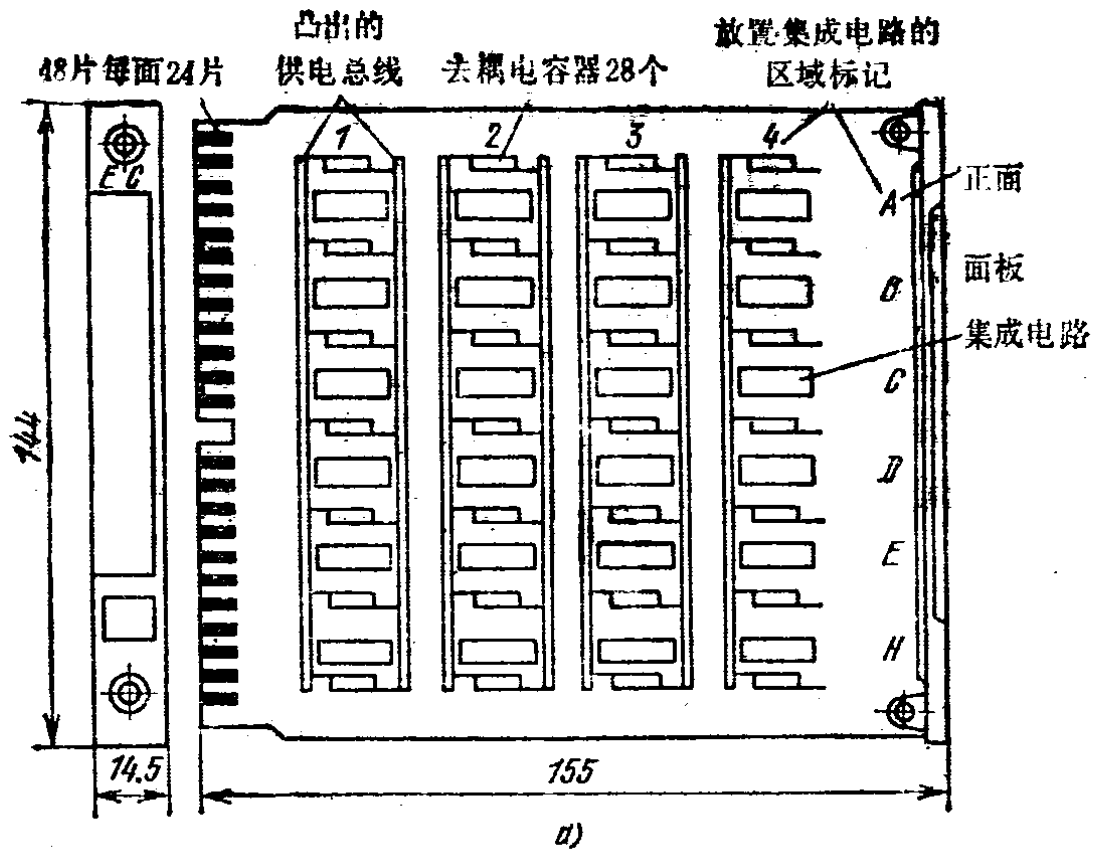


图 1.4 底座上的可更换逻辑元件
 a—双面印制电路板; b—多层印制电路板

(微型装配件)、装在外壳内的晶体管或二极管、分立的电阻器、电容器。第二级是上面安装有微型电路、接触元件或滤波元件的普通印制电路板或多层印制电路板(图1.4)。通常,这一结构级的元件称为典型可更换元件。第三级是安装底座(底板)。底座有用来连接20~40个典型可更换元件及与其它底板相连接的接头,并有供典型可更换元件使用的导轨(图1.5)。第四级是供连接六块底板的框架(图1.6),第五级是连接三个框架的机架(图1.7),边上的两个框架可以移动,以保证能无阻碍地达到中间的框架。第六级是构成电子计算机的机架组合体(图1.8)。

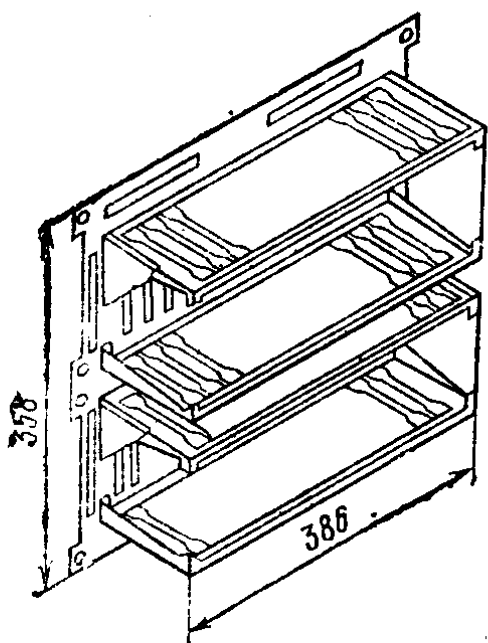


图 1.5 安装典型可更换逻辑元件的底板

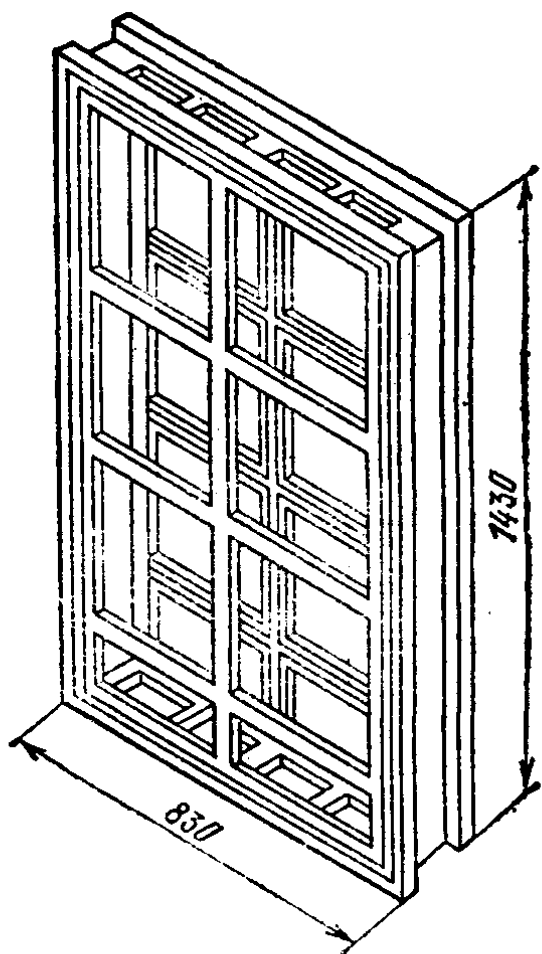


图 1.6 放置底板的框架

图 1.7 EC 电子计算机的
典型机架

1—框架；2—打开的小门(可拆卸)；
3—框架的安装面；4—典型可更换元件在框
架内的安装方向；5—小门的悬置轴；6—可动
框架的悬置轴；7—放置电缆编织线的空间；
8—可拆卸的端面挡板

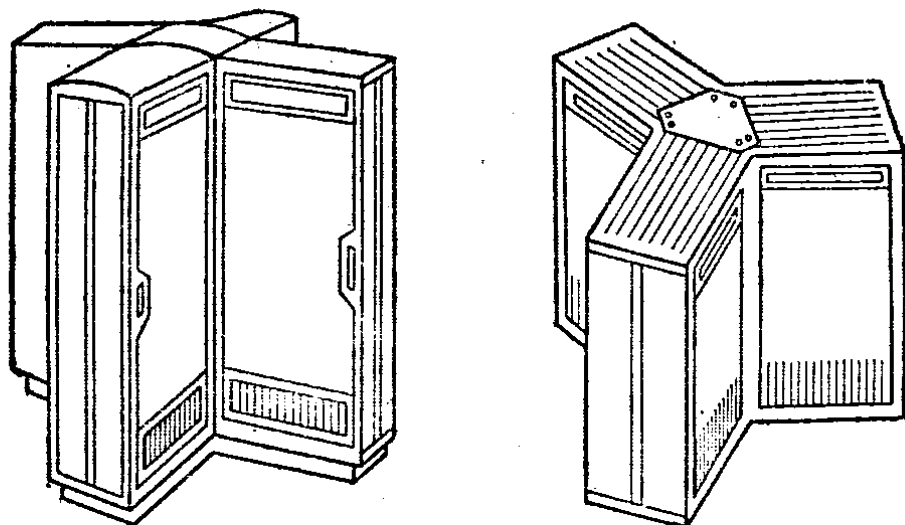
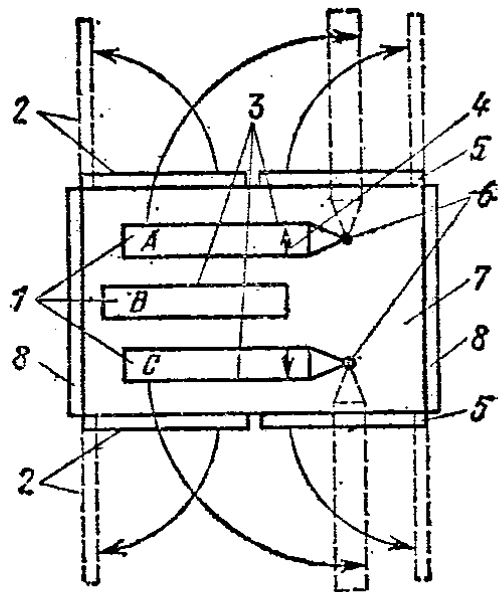


图 1.8 电子计算机的机架组合体

无线电工程设备(例如雷达)的结构分级级别更是多种多样,而且主要是按作用原理来分级。这是因为各部件(振荡器、调制器、滤波器、比较器、多级放大器等)的通用性较小、功能复杂性较大以及信号的频率和功率范围较宽。

虽然结构分级体系提供了某些好处,但也有一些缺点,即组装密度降低、制造复杂。组装密度的降低是由于集成电路罩上外壳时要损失一部分空间;部件连同印制电路板的空间利用率低;存在接头、机械固定件及确保散热的缝隙;必须放置显示元件和控制元

件；出现结构上和功能上的多余物。有人认为^{〔8〕}，用低集成度的半导体集成电路制作的电子计算机处理器的体积比之在内部完成全部逻辑功能的硅晶片的体积，平均而言要大5000倍。利用这个潜力的途径之一，是从部件（电路）集成过渡到组合体（系统）集成。这只有在对组合体微小型化的条件下才有可能实现。所谓组合体的微小型化，是指通过在结构内增加微电子部件的比例来改善电子设备的重量 - 尺寸、耗能、可靠性和成本等特性的一切可能措施（系统的电路设计、结构设计和工艺设计）。

与第一代电子设备的结构相比，微电子设备的结构有以下一些特点：

1) 电阻器、电容器、导线大都是在介质衬底表面上制成薄膜结构形式；半导体二极管和晶体管则是在半导体衬底的表面层上制成扩散结构形式；

2) 把很多元件结合（集成）到一块衬底上（结果便得到结构上是完整的功能部件），从而难以满足电磁兼容性和热兼容性的要求，也难以使产品有高的成品率；

3) 使用小型分立元件：接头、滤波元件、匹配元件、指示元件、转接元件等；

4) 采用新的特殊方法来保证对热作用和机械作用以及潮湿作用进行防护；

5) 设备的尺寸在很大程度上取决于指示元件和控制元件的尺寸；

6) 材料用量少；

7) 成本有可能很低（在大批量生产时）。

现代微电子设备的结构是由于集成电路生产的完善以及新型结构——工艺方案的拟制而产生的结果。图 1.9 示出 1960 年到 1975 年期间，经济合理的集成度 [用一块衬底（晶片）上的元件数表示] 的变化曲线。对于经济上不太合理的集成度，由于花费在封装上的费用增加，集成电路的成本也增加。对于较高的集成