

电子设备的 结构设计

〔苏〕H. П. 波利亚科夫 著



科学出版社

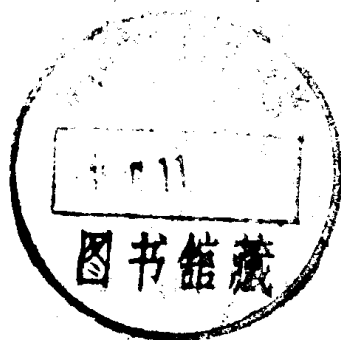
73.612
305

电子设备的结构设计

〔苏〕K. П. 波利亚科夫 著

张 伦 译

陈沛生 校



科 学 出 版 社

1986

8610883

DT16/66
内 容 简 介

本书系统地论述了电子设备制造的结构设计和加工工艺方面的许多问题。全书共分十章,内容包括:对电子设备结构提出的技术要求、结构设计方法、结构设计最佳化的某些问题,以及设计的易维修性、电磁兼容、耐振、耐冲击、防潮、散热、电气安装、支承结构的设计等。此外,书中还从工程心理学和工程美学的角度对结构设计作了描述。书中还例举了许多典型实例,便于读者学习、掌握和应用。

本书可供从事电子设备结构设计的广大工程技术人员阅读,也可供高等院校相应专业的师生参考。

К. П. Поляков
КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Москва «Радио и связь», 1982

电子设备的结构设计

[苏] К. П. 波利亚科夫 著

张 伦 译

陈沛生 校

责任编辑 刘兴民

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年11月第一版 开本: 787×1092 1/32

1986年11月第一次印刷 印张: 9 3/4

印数: 0001—4,200 字数: 221,000

统一书号: 15031·753

本社书号: 4955·15—7

定价: 2.30 元

8880108

译 者 的 话

大家知道,电子设备的研制主要涉及电路设计和结构设计两个方面的问题。有关电路设计的书籍已陆续出版了一些,但有关结构设计的书籍则出版得不多。现将 К. П. Поляков 著的“Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры”一书翻译成中文出版,当能对我国读者有所裨益。

与已出版的同类书籍相比,本书最突出的特点是内容比较新颖、实践性强。书中除了对电子设备结构设计的一般问题做了简明扼要的叙述之外,还着重介绍了微电子设备的结构设计、计算机辅助设计、设备的易维修性、工程美学和工程心理学在结构设计中的应用等许多方面,这些都是在其它书籍中颇为鲜见的。为了使读者加深对所述内容的理解并在实践中加以具体应用,书中还例举了不少实例。此外,书末所附参考文献也有助于读者对某些专门问题作深入探讨。

本书的译文承陈沛生高级工程师校订,译者在此向他表示衷心的感谢。

译者水平有限,译文中缺点和错误在所难免,恳切希望读者不吝批评指正。

序 言

最近,在无线电物理学、量子电子学、半导体物理学*领域内完成的基础研究,为进一步完善电子设备开辟了广阔的前景,同时扩大了利用无线电电子学来解决许多技术问题的现实可能性。在已被揭示出来的各种可能性的基础上,对制定更加完善的结构规定了具体的技术要求。

本书阐明了制定电子设备结构的技术要求、结构设计方法、用自动系统实现结构设计最佳化的某些问题,以及保证设备适于维修、耐振、耐冲击和维持正常热状态的方法。书中特别注意了在涉及工程心理学和工程美学因素时的信息与控制仪器的结构设计问题,以及支承结构的制作问题。在相应的章节中还给出了计算实例和一些手册性材料。书中未涉及电路元件或组合元件(其中典型的集成电路也未涉及)的结构设计问题,因为这些问题已超出了本书所要论述的范围,它们在文献资料中已有足够详尽的介绍。

本书适于电子设备的结构设计人员阅读,对大学生完成电子设备结构设计课程的毕业设计也可能有所裨益。

由于篇幅所限,故书中不可能对所有的问题进行详尽的讨论。因此,在参考文献中列出了本书所引用的资料,读者从中可以查到对某些专门性问题的较详细的说明。

对本书的意见和要求请迳寄: 莫斯科 101000 号邮政信箱 693 分箱。

作者

* 原文为“半导体材料和薄膜物理学”,国内习惯称为“半导体物理学”。——译者注

目 录

译者的话

序言

第一章 电子设备结构设计的一般问题	1
1.1 按用途和使用环境对电子设备分类	1
1.2 现代电子设备的结构设计问题	3
1.3 研制电子设备时应考虑的一般技术要求	9
1.4 电子设备结构设计的特点和设计人员的工作量	11
1.5 电子设备结构的标准化方法	14
1.6 结构的工艺性	17
1.7 设备的寿命	20
第二章 结构设计原理	23
2.1 结构设计的方法	23
2.2 电子设备结构设计某些过程的自动化	24
2.3 电子设备元件最佳拓扑的寻求	31
2.4 用电子计算机拟定电气安装布线	40
第三章 仪器设备结构设计的心理、生理基础和美学基础	45
3.1 操纵系统的工程心理学	45
3.2 决定仪器结构的生理学因素和解剖学因素	46
3.3 感觉器官的机能和操作者的工作范围	49
3.4 仪器制造中的工程美学	54
3.5 颜色在仪器构成中的作用	58
3.6 照明装置和光信号装置	61
3.7 计读装置和指示装置的结构设计	70

3.8	手控制器	73
3.9	操纵板的组装	77
第四章	电子设备的组装原理和典型结构	79
4.1	研制电子设备时组装的主要任务	79
4.2	电子技术的发展对完善电子设备组装的影响	81
4.3	电子设备划分为结构组成的原则	84
4.4	仪器的组装和结构特点	91
4.5	信息仪表和控制仪表的组装	99
4.6	采用电子管的单元和部件	102
4.7	采用半导体器件的单元和部件	104
4.8	采用微模组件的单元和部件	107
4.9	微电子设备的基础元件	110
4.10	微电子设备的部件和单元	116
第五章	电气安装和安装连接件	124
5.1	电气安装的结构	124
5.2	干扰的主要形式及其消除方法	126
5.3	电气安装电缆和导线	132
5.4	安装导线的分段、敷设和固定	134
5.5	印制布线	140
5.6	多层印制电路板	144
5.7	导线和电缆芯线的连接元件	149
5.8	电气安装的连接和电缆引入线	153
第六章	电子设备易维修性的保证	155
6.1	易维修性与产品性能的关系	155
6.2	结构的完善和易维修性	156
6.3	易维修性的质量特征	158
6.4	易维修性的准则	159
6.5	易维修性的保证措施	161
6.6	故障的内置监控系统和找寻系统	165
6.7	设备布置在客体上时易维修性的保证	167

6.8	用备件、附件使电子设备系统配套	174
第七章	电子设备对环境影响的防护	176
7.1	工作环境物理参数的影响	176
7.2	外部机械因素对电子设备的影响	179
7.3	设备使用的极限额定值	182
7.4	保证设备防潮的方法	184
7.5	设备耐热性和耐寒性的保证	188
7.6	保证设备工作在低大气压力下的措施	190
7.7	设备对灰尘、水滴和外部液体静压力的预防	190
第八章	电子设备对动态过荷作用的防护	199
8.1	电子设备防振和防冲击的方法	199
8.2	弹性系统自由振动的一般情况	204
8.3	仪器合理悬放在减振器上的方案	206
8.4	减振器和弹性联结件在仪器上的固定	208
8.5	真实减振系统固有频率的确定	210
8.6	设备的隔冲问题	220
8.7	仪器用减振器的基本参数	225
第九章	电子设备热状态的保证	233
9.1	热状态和热源	233
9.2	设备内部的传热方法	233
9.3	设备的散热方法	241
9.4	自然散热的热状态计算	248
9.5	强迫冷却的热状态计算	256
9.6	热负荷元件的冷却系统	263
第十章	支承结构零、部件的结构设计	270
10.1	支承构件的制造特点	270
10.2	构件的刚度	271
10.3	构件的耐振强度	277
10.4	支承结构零件的结构设计	281
10.5	焊接接头的结构设计	284

10.6 单元机架和分单元机架的结构设计	287
10.7 机壳	292
参考文献	302

第一章 电子设备结构设计的一般问题

1.1 按用途和使用环境对电子设备分类

电子设备按用途可分为:

无线电定位设备(发现目标并确定其位置的距离和坐标,确定路径和速度);

电视设备(发送和接收电视图象);

无线电通信设备(发送和接收载有通信信息的电磁波);

有线电通信设备(发送信息及利用中间增音设备进行双向有线通信);

电报设备(用莫尔斯电码沿导线远距离发送信息);

录音设备(磁记录和复现音乐、谈话及声频段的各种信息);

计算设备(完成各种各样的计算-分析工作);

遥控设备(对仪表、机器和装置进行远距离操纵);

自动调节和控制设备(对生产和工艺过程进行控制);

水声定位设备(在水下定向发送信号和接收反射信号、确定水底的深度和形位、确定障碍物和浮动体的距离及位置);

导航设备(自动和半自动引导运动目标;确定目标自身的速度、方向和位置);

电机设备(电能的获得、变换和配送);

控制测量设备(测量电参数和非电参数);

超声设备——产生在工业中作为工程应用的超声振荡。

按使用环境将电子设备分为地面设备、舰用设备和航空

设备,其中包括宇航设备。

按照全苏国家标准 ГOCT16019-78,地面设备又分为:

(1)工作在地面和地下空调间内的固定设备;(2)工作在露天和无暖气设施的房间或掩蔽所内的固定设备;(3)各种汽车箱内和驾驶室中的移动式设备和工作在行驶中的车辆上的设备;(4)安装在内河船舱中的移动式设备和工作在行驶中的内河船上的设备;(5)铁路运输中的移动式设备和工作在行驶中的火车上的设备;(6)供人在露天长期携带或在无暖气设施的房间中工作的便携式设备,以及在行进中工作和不工作的便携式设备。

舰用设备(海上用和岸上用)。按照使用环境分为:(1)安置在海岸露天或舰船上外露的上层建筑物上的设备;(2)安置在炉舱或机舱内及工作在水压之下的设备;(3)安置在室内、隔舱、驾驶舱和船舱空调间内的设备;(4)安置在受到强大机械作用的高速船只室内的设备;(5)安置在高速船只上的甲板、船长用舰桥和上层建筑物上的设备。

飞机用设备(机载设备)。按照使用特征分为:(1)安置在减振板和仪表板上及安置在活塞发动机式或螺旋桨发动机式飞机座舱或中心隔舱内的设备;(2)安置在上述两类飞机机翼末端隔室内、尾翼内或发动机安装处的设备;(3)安置在喷气式飞机机身的中心隔舱或驾驶舱内的设备;(4)安置在喷气式飞机机翼末端的隔室内、尾翼内或喷气发动机附近的设备。

看起来,以上几大类包括了在地面、水中和空中工作的所有各种设备。然而,随着无人驾驶飞行和火箭技术的发展,无人驾驶飞机、受控火箭、卫星和星际运载工具上所用的设备已分出成为独立的一类设备。

火箭技术设备按外部机械力和大气条件对它的作用,可将所安装的仪器分为几小类:(1)安装在无人驾驶飞机上的

仪器;(2)安装在远距离操纵的火箭(无人操纵火箭)上的仪器。

考虑到对上述每一类设备所提出的使用要求,需要指出,应用于某一领域的仪器也能成功地用于其它领域,而不管仪器的结构型式如何。这时,只要某些参数所表现出来的放宽余量在经济上被证明是正确的即可。

1.2 现代电子设备的结构设计问题

现代电子设备的结构设计问题是与提高产品质量和生产效率的任务结合在一起的。与结构设计有关的问题包括:降低成本,其中包括降低原材料消耗和动力消耗;减小体积和重量;扩大微电子设备的使用范围;提高集成度,使元件之间的连接和支承结构件微型化;确保电磁兼容性和增强散热能力;确保人-机的相互联系;广泛采用最佳结构设计方法;确保结构的高度工艺性和一致性;最大限度地采用标准化。

提高质量和降低成本的问题。质量是表示产品在一定条件下使用的适应程度。使用条件在产品的制造技术文件中应当用相应的条例预先作出充分说明。属于质量指标的有可靠性、寿命、精度和使用性能。这些与一次性完成功能的成本或与产品的其它比照参数有关的指标,决定了产品的经济效率或使用效率。一次性操作成本、一次性联系成本等也可以作为效率的判据。

质量问题归结为更全面地实现全部功能要求和可靠性要求,它与降低产品成本的所有措施的实现问题密切相关。这两个问题在产品的研制过程中被同时解决,一旦找到解决第一个问题的办法,立刻就要考虑第二个问题,即花多大的代价来保证第一个问题的解决。因此,任何结构设计方案的不仅由

所采用的手段来评定,而且还要由这些手段在经济上合理到何种程度来评定。然而,任何经济措施都不应有损于质量。大家知道,产品的总成本是设计、制造和维护三者消耗的总和。这三个阶段中,每一个阶段的特征都体现在降低产品成本的措施方面。

设计成本在很大程度上取决于结构设计的自动化程度。例如,为了计算一个尺寸为 53×120 毫米、其上有32个微型组件的电路板的最佳电路方案,用手计算需200小时,而利用“明斯克-20”型数字电子计算机时,总共只需5小时^[28]。标准化程度和设计工作的组织安排,对设计成本也有不小的影响。

制造成本可以靠形成具有同类构造的电子设备结构、制作有高度工艺性的零部件及采用最完善的零部件制造工艺来降低。为了降低成本,对于一些要进行机械加工的地方,应当代之以最先进的化学处理、热处理和电磁处理。制造成本还可以通过缩短生产周期、加强试验和采用非破坏性检验的方式来大大降低。

维护成本可以靠提高产品的可靠性、易维修性、增加寿命以及减少动力消耗、最大限度地使监控设备的完好性实现自动化来降低。

与制造和维护成本相比,产品的设计成本是极少的。然而,设计阶段实现了上述大部分措施,并决定了后两个阶段的成本。因此,在完成最佳结构设计任务时可以发现,设计成本的数十倍地增加将由制造和维护成本的降低所补偿。

最后,在成本问题中,时间因素起着特别重要的作用。因此,总是将工作量与完成工作所需要的最短时间结合起来通盘考虑。因为一种能体现现代的、极有价值的观点的结构,在漫长的研制过程中,从道理上讲不可避免地会变得陈旧过时。

进一步减小电子设备的体积和重量的问题。 减小电子设

备的体积和重量本身不是目的，而只作为满足一些现代要求（扩大设备的应用范围、降低材料消耗和改善使用特性）的手段。

电子系统的总体积和总重量取决于设备本身、冷却或加热装置、辅助设备、备件和电源（用等效功耗来计算）的体积（重量）之总和。由此，减小电子设备的体积和重量的措施应涉及到设备的所有各个组成部分。

电子设备的外形尺寸首先取决于所用元件的特点及元件的安装密度。元件的安装密度受到工作特性的限制，例如，由于元件过分密集，会使热状态变坏，并使确保电磁兼容性、易维修性等问题变得更加复杂。在这种情况下，必须采用功率更大、更复杂、更昂贵的冷却方法，辅助屏蔽和元件连接通路。因此，冷却装置、屏蔽体和连接器本身的体积（重量）在个别情况下可能比靠元件的高安装密度所节省下来的体积（重量）还大。

电磁兼容性应理解为在若干电子设备共同工作时，相互间的电磁干扰和设备本身的寄生耦合不应超过允许量。随着组装密度的增加，确保电磁兼容性的困难程度也增大，特别是在制造高灵敏度、宽频段的设备以及将设备安置在窄小的室内时，更难确保设备的电磁兼容性。

利用半导体器件、小型棒接元件和印制布线，便可能进一步缩小电子设备的体积。薄膜集成电路和半导体集成电路的制作，为缩小电子设备的体积开辟了更加广阔的前景。微电子学不仅促进了设备向小型、轻便的方向过渡，而且也促进了设备向微电流，也就是散热不多的方向过渡。此外，降低材料的用量对节约原材料也有显著的影响。

微电子学领域中许多问题的解决促进了越来越多地使用以集成电路作为基础元件的电子设备。目前，集成电路的发

展主要是扩展频段、提高有源微型元件的功率以及使具有大的额定值的中介电路元件微小型化。当从电路集成化过渡到设备集成化时,便可能进一步缩小电子设备的体积、提高设备的作用速度、缩短电路之间的连线及使支承构件小型化达到可与集成电路相比拟的水平。由于大规模集成电路有相当高的可靠性,故设计制造高集成度的电子设备从经济角度来看已成为合理的事情。

但是,尽管集成电路有着巨大的应用潜力,但它也有一定的局限性,例如,半导体不能用于高温及有放射性辐射的环境中。

高温电子学早已激发着许多研制人员的聪明才智。已由气相媒质制成高温薄膜,而且由砷化镓制成半导体材料。因此,制作不用庞大的散热器或强迫冷却的更紧凑的电子设备已成为综合微小型化的现实因素。

同时,由于对更有效地制作微电子设备的方法进行科学探索的结果,已拟定出无线电电子学的一些富有前景的方向,其中包括:

由半导体的通用逻辑元件组成的单一集成结构技术,这种技术能获得具有密度很高的装置。

负阻技术:应用这种技术时,为了获得一定形状和幅度的脉冲以及使信号只通过一个给定的通道而利用了有源延迟线(负阻管*)。

低温电子学:应用这种技术时,电路的工作是靠利用在低温下由强磁场控制的超导效应。

离子学:应用这种技术时,靠离子化过程能够制作出高精度度和高灵敏度的电化学元件,其能量消耗比半导体中的能量消耗低 100—1000 倍。

光电子学:应用这种技术时,能以高增益将光信号变为电信号,或

* 系一种 pnpn 结构的负阻开关。——译者注

完成相反的变换。

操作者与控制系统的相互联系。在控制自动化方面取得的技术进步，对电子设备设计师提出了一些基本任务和一些早已得到实际应用的任务。其中的任务之一，是拟定考虑心理生理学要求的结构。心理生理学要求是对操作人员与控制系统中的设备的相互联系进行分析研究之后而得出的。

要求设计师创造出使操作者很容易完成其复杂职能的电子控制装置包括：仪器有合适的外形；仪器上的控制机构和信息机构布置适当；合理的照明等。与此同时，必须建立一个最大限度地便于操作者从事生产活动、减轻神经负担及不致迅速疲乏的环境。工程美学便研究这类问题。

生产间的室内装饰，设备的外形、比例、颜色和照明则是美工设计最重要的研究对象。在仪器制造中，工程美学的任务还要满足工作可靠性方面的一些要求。

相互联系的基本问题是：美观、使用方便的仪器决不能靠任何附加的客体、效应或装饰品，而是靠形成一种形式简洁且符合实际需要、满足心理生理学要求的技术构思制作出来。

最佳结构设计方法的运用。通常，电子设备结构最佳化的任务归结为：从大量待审定的方案中找出保证在材料消耗最少的情况下，以最高效率完成预定任务的唯一方案。寻求最佳方案会增加高度熟练的工作量，使得手工劳动变成为低效率的劳动。在现有的条件下，采用图解分析装置和电子计算机来使研制过程最佳化，是提高劳动效率的最根本的方法。

机器设计将使工作的某些阶段发生变化，并要求改变设计师、结构设计师和技术档案人员之间形成的传统复杂关系。机器设计的广泛应用还要求完善设计文件的形式，以及建立存放对机器载体上的设计图和其它资料所作的穿孔卡片（而不是卡片集）的技术档案室。

采用电子计算机系统的规模取决于结构设计过程的运算程度、处理模拟试验结果或修正机器编制的文件所需的时间、以及设计师与电子计算机系统相互联系的形式。最后一个条件十分重要,因为最有效的信息交换形式,即设计师与电子计算机直接对话能显著扩大结构设计自动化和最佳化的可能性。

最佳结构设计方法是建立在严格的科学观点的基础之上的。它有助于扩大结构设计过程运算的范围以及确立热计算、电气计算、强度计算和可靠性计算的统一体系。

最大限度地采用标准化方法。标准化方法能改进结构设计的过程、安排好电子设备的结构及有助于获得高工艺性和使用质量,在电子仪器的制造中,以功能性部件和功能性组件的形式来制作设备的原则最广泛地采用了标准化措施。由于电子设备结构的一致性,故这个原则能使设备的各个组成部分按标准格式实现划一。

在电子设备组合体的组成中,包含有大量复杂的机械装置、机电装置、转换装置和信号装置。这将降低设备的一致性,并使组合体的制造工艺和使用复杂化。因此,在研制电子设备时,为了实现某种功能,都尽量用电的方法来代替机电方法。

电子设备的多通道系统可以作为制作标准化系数很大的、可靠的、一致性强的设备的实例。由于设备中有大量相同的通道同时并行工作,从而提高了系统的总体可靠性。这是因为即使有 10% 的通道发生故障,也几乎不会降低设备的主要特性。此外,这类设备的结构也变得更加简单,而设备的电气连接拓扑为正交拓扑*。

* 一般而言,如果一物体本来连着的部分,不因某变换而分开,本来不连着的部分,也不因该变换而连通起来。这种具有保持连通性的变换称之为拓扑变换。在拓扑变换下不变的性质称之为拓扑性质。——译者注