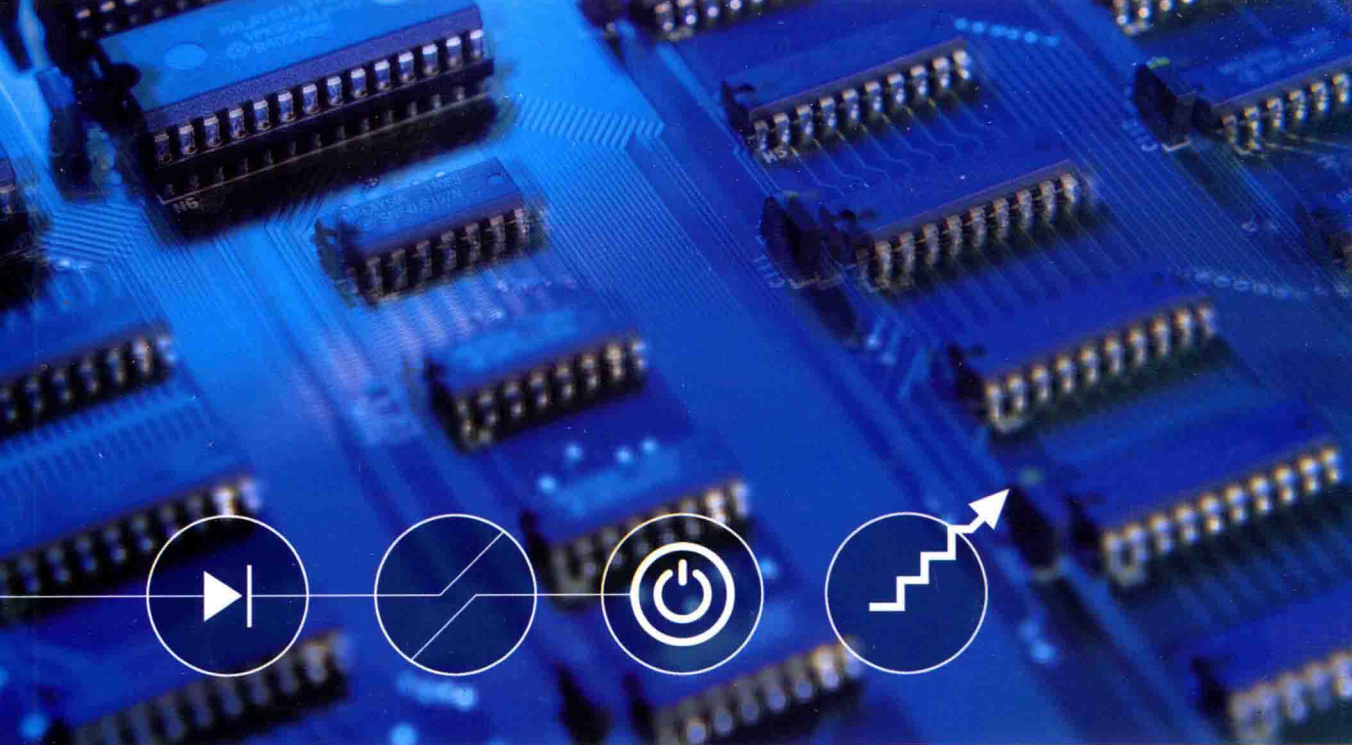




BASIS OF PROCESS DESIGN
FOR ELECTRONIC PRODUCTS

电子产品工艺 设计基础

● 曹白杨 主编
● 孙 燕 江 军 刘 勇 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

合 编 内 容

电子产品工艺设计基础

曹白杨

主 编

孙 燕 江 军 刘 勇 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据电子信息工程、微电子技术专业的培养目标和“电子产品设计与工艺”课程的教学大纲要求编写而成的,全书共13章,主要内容有电子设备设计概论、电子产品的热设计、电子设备的电磁兼容设计、电子产品的结构设计、电子设备的工程设计、电子元器件、印制电路板、装配焊接技术、电子装连技术、表面组装技术、电子产品技术文件、电子产品的组装与调试工艺、产品质量和可靠性等。

本书既可作为高等工科院校电子工艺与管理、电气自动化、应用电子、机电一体化、电气技术等专业的教学用书,也可作为从事电子设备设计与工艺等工作的相关工程技术人员的参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子产品工艺设计基础 / 曹白杨主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.2

ISBN 978-7-121-28161-7

I. ①电… II. ①曹… III. ①电子工业—产品设计—高等学校—教材 IV. ①TN602

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 029044 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 北京季蜂印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.25 字数: 595 千字

版 次: 2016 年 2 月第 1 版

印 次: 2016 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

电子制造业是国民经济的支柱产业，也是国家经济和综合国力的重要基础之一，是国家工业现代化先进程度的重要表征。进入 21 世纪，各国开始实施大力发展信息产业的战略方针，电子制造业的产业结构也有了巨大变化和发展。这些变化主要表现在：各类电子器件和生产技术之间相互渗透，生产日趋规模化和自动化；集成电路的发展，器件、电路和系统之间的密切结合，电子制造业与信息产业界限日益模糊；电子技术与计算机应用技术日益紧密结合，电子工业已从单一的制造业过渡到电子信息产业。电子设备及各类电子产品正是随着电子工业发展而孕生，随着电子技术、信息技术与计算机应用技术的发展而发展。

为适应电子制造业的发展和相关专业教学的需要，我们根据相关课程的教学大纲编写了《电子产品工艺设计基础》一书，全书共 13 章，主要内容有电子设备设计概论、电子产品的热设计、电子设备的电磁兼容设计、电子产品的结构设计、电子设备的工程设计、电子元器件、印制电路板、装配焊接技术、电子装连技术、表面组装技术、电子产品技术文件、电子产品的组装与调试工艺、产品质量和可靠性等。

本书的第 1、5、10 章由曹白杨编写，第 2、4 章由孙燕编写，第 3 章由王晓、孙燕编写，第 6、7 章由江军、梁万雷编写，第 8、9 章由江军、杨虹蓁编写，第 11 章由曹白杨、刘勇编写，第 12、13 章由刘勇、杨虹蓁编写，全书由曹白杨负责统稿。

由于我们时间仓促，水平有限，教材一定还存在不少问题，为了不断提高教材质量，我们热切地希望同志们批评指正。

作者

2016 年 1 月于北华航天工业学院

目 录

第 1 章 电子设备设计概论	1
1.1 概述	1
1.2 电子设备结构设计的内容	2
1.3 电子设备的设计与生产过程	4
1.3.1 电子设备设计制造的依据	4
1.3.2 电子设备设计制造的任务	5
1.3.3 整机制造的内容和顺序	8
1.4 电子设备的工作环境	9
1.5 温度、湿度、霉菌因素影响	11
1.5.1 温度对元器件的影响	11
1.5.2 湿度对电子产品整机的影响	12
1.5.3 霉菌对电子产品整机的影响	14
1.6 电磁噪声因素影响	15
1.6.1 噪声系统	16
1.6.2 噪声分析	16
1.7 机械因素影响	19
1.7.1 机械因素	19
1.7.2 机械因素的危害	20
1.8 提高电子产品可靠性的方法	21
第 2 章 电子产品的热设计	23
2.1 电子产品的热设计基本原则	23
2.1.1 电子产品的热设计分类	23
2.1.2 电子产品的热设计基本原则	24
2.2 传热过程概述	25
2.2.1 导热过程	26
2.2.2 对流换热	27
2.2.3 辐射换热	27
2.2.4 接触热阻	28
2.3 传热过程	29
2.3.1 复合换热	29
2.3.2 传热	30
2.3.3 传热的增强	31
2.4 电子产品的自然散热	33

2.4.1	电子产品机壳的热分析	33
2.4.2	电子产品内部元器件的散热	34
2.4.3	功率器件散热器的设计计算	37
2.5	强迫风冷系统设计	41
2.5.1	强迫风冷系统的设计原则	41
2.5.2	强迫风冷却的通风机(风扇)选择	44
2.6	电子产品的其他冷却方法	46
2.6.1	半导体制冷	46
2.6.2	热管	48
第3章	电子设备的电磁兼容设计	51
3.1	电磁兼容设计概述	51
3.1.1	电磁兼容的基本概念	51
3.1.2	噪声干扰的方式	52
3.1.3	噪声干扰的传播途径	53
3.1.4	电磁干扰的抑制技术	60
3.2	屏蔽技术	62
3.2.1	电场屏蔽	63
3.2.2	磁场屏蔽	65
3.2.3	电磁场屏蔽	68
3.3	接地技术	70
3.3.1	接地的要求	70
3.3.2	接地的分类	71
3.3.3	信号接地	71
3.3.4	地线中的干扰和抑制	75
3.3.5	地线系统的设计步骤及设计要点	78
3.4	滤波技术	79
3.4.1	电磁干扰滤波器	79
3.4.2	滤波器的分类	81
3.4.3	电源线滤波器	84
第4章	电子产品的结构设计	86
4.1	机箱概述	86
4.1.1	机箱结构设计的基本要求	86
4.1.2	机箱(机壳)的组成和基本类型	88
4.1.3	机箱(机壳)设计的基本步骤	89
4.2	机壳、机箱结构	90
4.2.1	机壳的分类	90
4.2.2	机箱(插箱)的分类	92

4.3	底座与面板	94
4.3.1	底座	94
4.3.2	面板的结构设计	96
4.3.3	元件及印制板在底座上的安装固定	97
4.4	机箱标准化	100
4.4.1	概述	100
4.4.2	积木化结构	101
第5章	电子设备的工程设计	103
5.1	机械防护	103
5.1.1	机械环境	103
5.1.2	隔振和缓冲设计	104
5.1.3	隔振和缓冲的结构设计	108
5.2	电子设备的气候防护	110
5.2.1	腐蚀效应	111
5.2.2	潮湿侵蚀及其防护	113
5.2.3	霉菌及其防护	115
5.2.4	灰尘的防护	117
5.2.5	材料老化及其防护	117
5.2.6	金属腐蚀及其防护	120
5.3	人-机工程在电子设备设计中的应用	124
5.3.1	人-机工程概述	124
5.3.2	人-机工程在产品中的应用	127
5.4	电子设备的使用和生产要求	133
5.4.1	对电子设备的使用要求	133
5.4.2	电子设备的生产要求	135
第6章	电子元器件	139
6.1	电阻器	139
6.2	电位器	140
6.2.1	电位器的主要技术指标	140
6.2.2	电位器的类别与型号	141
6.3	电容器	141
6.3.1	电容器的主要技术指标	142
6.3.2	电容器的型号及容量标志方法	143
6.4	电感器	144
6.5	变压器	145
6.6	开关及接插元件简介	147
6.6.1	常用接插件	147

6.6.2	开关	149
6.7	散热器	150
6.8	半导体分立器件	151
6.9	半导体集成电路	152
6.10	表面组装元器件	154
6.10.1	表面组装电阻器	155
6.10.2	表面组装电容器	157
6.10.3	表面组装电感器	159
6.10.4	其他表面组装元件	160
6.10.5	表面组装半导体器件	161
6.10.6	表面组装元器件的包装	166
第 7 章	印制电路板	170
7.1	印制电路板的类型与特点	170
7.1.1	覆铜板	170
7.1.2	印制电路板类型与特点	171
7.2	印制电路板制造工艺	172
7.2.1	印制板制造过程	172
7.2.2	印制板生产工艺	177
7.2.3	多层印制电路板	178
7.2.4	挠性印制电路板	181
7.2.5	印制板的手工制作	182
7.3	表面组装用印制电路板	185
7.3.1	表面组装印制板的特征	185
7.3.2	SMB 基材质量的主要参数	186
7.4	印制电路板的质量检查及发展	188
7.4.1	印制电路板的质量	188
7.4.2	印制电路板的发展	189
第 8 章	装配焊接技术	191
8.1	安装技术	191
8.1.1	安装的基本要求	191
8.1.2	集成电路的安装	194
8.1.3	印制电路板上元器件的安装	195
8.2	焊接工具	198
8.2.1	电烙铁的种类	198
8.2.2	电烙铁的选用	201
8.2.3	电烙铁的使用方法	201
8.2.4	热风枪	203

8.3	焊料、焊剂	204
8.3.1	焊料分类及选用依据	204
8.3.2	锡铅焊料	205
8.3.3	焊膏	207
8.3.4	助焊剂	211
8.3.5	阻焊剂	213
8.4	焊接工艺	214
8.4.1	手工焊接操作技巧	214
8.4.2	手工焊接工艺	216
8.4.3	导线焊接技术	218
8.4.4	拆焊	220
8.4.5	表面安装元器件的装卸方法	222
第9章	电子装连技术	228
9.1	电子产品的装配基本要求	228
9.2	搭接	229
9.3	绕接技术	231
9.3.1	绕接	231
9.3.2	绕接工具及使用方法	232
9.3.3	绕接质量检查	233
9.4	压接	234
9.5	其他连接方式	238
9.5.1	黏接	239
9.5.2	铆接	240
9.5.3	螺纹连接	241
第10章	表面组装技术	244
10.1	表面组装技术概述	244
10.1.1	表面组装技术特点	244
10.1.2	表面组装技术及其工艺流程	246
10.1.3	表面组装技术的发展	252
10.2	印刷技术及设备	255
10.2.1	焊膏印刷技术概述	256
10.2.2	焊膏印刷机系统组成	260
10.2.3	焊膏印刷模板	261
10.2.4	影响焊膏印刷的主要工艺参数	262
10.3	贴装技术及设备	264
10.3.1	贴片机概述	264
10.3.2	贴片机系统组成	269

10.4	再流焊技术及设备	280
10.4.1	再流焊接概述	280
10.4.2	再流焊工艺	284
10.5	波峰焊技术及设备	288
10.5.1	波峰焊机	289
10.5.2	波峰焊工艺	294
10.6	常用检测设备	300
10.6.1	自动光学检测 (AOI)	300
10.6.2	X 射线检测仪	301
10.6.3	针床测试仪	302
10.6.4	飞针测试仪	302
10.6.5	SMT 炉温测试仪	304
10.7	SMT 辅助设备	305
10.7.1	返修工作系统	305
10.7.2	全自动点胶机	306
10.7.3	超声清洗设备	307
10.7.4	静电防护及测量设备	309
10.8	微组装技术	313
10.8.1	微组装技术的基本内容	314
10.8.2	微组装技术	315
第 11 章	电子产品技术文件	322
11.1	设计文件概述	322
11.2	生产工艺文件	325
11.2.1	工艺文件概述	325
11.2.2	工艺文件的编制原则、方法和要求	326
11.2.3	工艺文件的格式及填写方法	327
第 12 章	电子产品的组装与调试工艺	333
12.1	电子产品生产工艺流程	333
12.2	电子产品的调试技术	335
12.2.1	概述	335
12.2.2	调试与检测仪器	335
12.2.3	仪器选择与配置	337
12.2.4	产品调试	338
12.2.5	故障检测方法	340
12.3	电子产品的检验	344
12.3.1	全部检验和抽查检验	344
12.3.2	检验验收	344

12.3.3 整机的老化试验和环境试验	346
第 13 章 产品质量和可靠性	348
13.1 质量	348
13.2 可靠性	349
13.3 产品生产及全面质量管理	351
13.3.1 全面质量管理概述	351
13.3.2 电子产品生产过程的质量管理	352
13.3.3 生产过程的可靠性保证	354
13.4 ISO9000 系列国际质量标准简介	355
13.4.1 ISO9000 系列标准的构成	355
13.4.2 ISO9000 族标准	356
13.4.3 ISO9000 族标准的应用与发展	356
13.5 产品质量认证及其与 GB/T 19000 的关系	357
13.6 实施 GB/T 19000-ISO9000 标准系列的意义	358

第1章 电子设备设计概论

电子技术发展迅猛,电子工业生产中的新技术、新工艺不断涌现,促进了整个产业的大发展。计算机的广泛应用,CAD/CAM集成系统的完善,进一步推动了电子工业产业的技术革命。进入20世纪90年代,各国开始实施大力发展信息产业的战略方针,电子工业的产业结构也有了巨大变化和发展。这些变化主要表现在:各类电子器件和生产技术之间相互渗透,生产日趋规模化、自动化;集成电路的发展,器件、电路和系统之间的密切结合,电子产品制造业与信息产业界限日益模糊;电子技术与计算机应用技术日益紧密结合,电子工业已从单一的制造业过渡到电子信息产业。电子设备及各类电子产品正是随着电子工业发展而孕生,随着电子技术、信息技术与计算机应用技术的发展而发展。

1.1 概 述

所谓电子设备指利用电子学原理制成的设备、装置、仪器仪表、专用生产设备等;利用电工学原理制成的设备、装置、专用生产设备等称为电工设备或电气设备;有时也把电子设备和电工电气设备统称为电子产品(简称为产品)。

随着电子技术的发展,电子产品正广泛应用于人类生活的各个领域。电子产品的生产与发展是与电子技术的发展密切相关的。新材料的使用、新器件的出现,尤其是大规模和超大规模集成电路的出现和推广应用,以及工艺手段的不断革新,使电子产品在电路上和结构上都产生了巨大的飞跃。以视听产品为例,近十几年来,电子技术领域出现的数字技术、卫星技术、光纤与激光技术以及信息处理技术等新技术,已经迅速地应用在电子工业生产中,使新一代视听电子产品的面貌为之一新,成为家庭和个人从社会取得各种信息的终端产品。这些产品技术精良、功能齐全、造型优美、使用方便,其部件正朝着高指标、多功能、小型化、低成本等方向发展。

电子产品按用途可分为民用电子产品、工业用电子产品和军用电子产品。

民用电子产品又可分为:通信类,如电话交换机、移动电话等;计算机类,如个人计算机、打印机、显示器等;家用电器类,如电视机、VCD、DVD、洗衣机、微波炉等。

工业用电子产品又可分为:通用仪器仪表,如示波器、信号发生器、万用表和电子测量仪器等;专用设备,如再流焊机、波峰焊机、贴片机、半导体加工设备、印刷电路板制造设备等;工具类,如AOI在线检测设备、X光焊点检测设备等。

军用电子产品如雷达、野战通信系统等。

电子产品按产生、变换、传输和接收的电磁信号的不同,还可分为模拟产品和数字产品。现代电子产品就其功能及用途而言,大致上可以分为以下几类。

① 广播通信类:如广播、电视产品,各种有线及无线通信产品等。

② 信息处理类:如各种类型的电子计算机及其外围产品、控制设备等。

③ 电子应用类：如各种电子检测设备、雷达设备、医用电子产品及激光应用产品等。电子产品从电子联装技术与工艺的特点考虑，可将其划分为以下几个阶段。

① 电子管技术：代表元器件是长、粗引线的元件和电子管，其电子装联方法是手工接装和手工焊接。

② 晶体管技术：代表元器件是轴向引线和晶体管，电子装联方法是半自动插装和手工浸焊。

③ 单、双列直插集成电路技术：代表元器件是径向引线，单、双列直插集成电路，电子装联方法是自动插装和浸焊、波峰焊。

④ 表面安装技术：代表元器件是无引线（含短粗引线）的片式元件（SMC）和片式器件（SMD），电子装联方法是表面安装方法及波峰焊、再流焊和载带自动焊。

⑤ 微组件技术：代表元器件是三维微型组件、甚大规模集成电路（VLSIC）、超大规模集成电路（ULSIC）和超高速集成电路（UHSIC），电子装联方法是自动表面安装、多层混合组装和裸芯片组装。

电子科学理论的发展和工艺技术的提高，使新产品，新装备层出不穷。电子产品向智能化、微型化、集成化和声表面波化方向发展。作为电子产品基础的各种电子元件则由大、重、厚向小、轻、薄方向发展，电子设备的结构设计也遇到了前所未有的挑战。而电子产品的微型化、集成化使电子产品本身的结构设计、防护设计、热设计、电磁兼容性设计、连接设计等显得极为重要。

1.2 电子设备结构设计的内容

电子设备的设计通常包括线路设计和结构设计。线路设计是根据产品的性能要求和技术条件，确定设计方案，初定方框图和电路图，在此基础上进行必要的计算和试验，最终确定线路图并选定元器件及其参数。电子设备的结构设计是根据线路设计提供的资料和数据，考虑电子设备的性能要求、技术条件等，合理地布置元器件，使之组成部件或电路单元，同时还要与其他单元连接起来，并进行机械设计和防护设计等，最后组成一台完整的产品，给出全部工作图纸。

目前，电子设备的结构设计包括以下几个方面内容。

1. 整机组装结构设计（总体设计）

根据产品的技术要求和使用的环境条件，整机组装结构设计的内容如下所述。

① 环境防护设计：包括元器件、组件及整机的热设计，防腐、防潮、防霉设计，振动与冲击隔离设计，屏蔽与接地设计等。

② 结构件设计：包括机柜、机箱（或插入单元）、机壳、机架、底座、面板、把手、锁定装置及其他附件的设计。

③ 机械传动装置设计：根据信号在传递或控制过程中，对某些参数（电或机械）的调节和控制所必需的各种机械传动组件或执行元件进行设计。

④ 总体布局：在完成上述各方面的设计之后，合理地安排结构布局，相互之间的连接

形式以及结构尺寸的确定等。

2. 热设计

产品的热设计是指对电子元器件、组件以及整机的温升控制,尤其是对于高密度组装的产品,更应注意其热耗的排除。温升控制的方法包括自然空冷、强迫空冷、强迫液冷、蒸发冷却、温差电制冷、热管传热等各种形式。

3. 电磁兼容性设计

产品中的数据处理和传输系统的自动化,要求各系统有良好的抗干扰能力。因此,应进行电磁屏蔽与接地的设计,以提高产品对电磁环境的适应性。其措施包括噪声源的抑制、消除噪声的耦合通道和抑制接收系统的噪声等。

4. 防腐设计

严酷的气候条件会引起电子产品中金属和非金属材料发生腐蚀、老化、霉烂、性能显著下降等各种破坏。因此,应根据产品所处环境条件的性质、影响因素的种类、作用强度的大小来确定相应的防护措施,设计合理的防护结构,选择耐腐蚀材料,研制新的抗腐蚀措施。

5. 机械传动装置设计

产品在完成信号的产生、放大、变换、发送、接收、显示和控制的过程中,必须对各种参数(电的或机械的)进行调节和控制。因此需要设计相应的机械传动装置或执行元件来完成这个功能。这里除了常规的机械传动装置设计外,主要是与电性能密切相关的转动惯量、传动精度、刚度和摩擦等问题的设计。

6. 结构的静力与动力计算

对于运载工具中使用或处于运输过程中的电子产品,则要求有隔振与缓冲措施,以克服由于机械力引起的材料疲劳应力、结构谐振对电性能的影响。对于薄壁和型材的机柜(机壳)结构,则还要考虑结构的强度、刚度和稳定性问题。

7. 连接设计

产品中存在着大量的固定、半固定以及活动的电气接点,实践证明这些接点的接触可靠性对整机或系统的可靠性有很大的影响。因此,必须正确地设计、选用固定连接的工艺,如钎焊、压接、熔接等。同时,还应注意对各种接插件、开关件等活动连接件的使用。

8. 人机工程学在结构设计中的应用

产品既要满足电性能指标的要求,又要使产品的操作者感到方便、灵活、安全,同时外形必须美观大方。这样就要求用人机工程学的基本原理来考虑人与产品的相互关系,设

设计出符合人的生理、心理特点的结构,更好地发挥人和机器的效能。

9. 造型与色彩的设计

产品的造型具有实用功能和使用功能,而电子产品的色彩可以给人以美的享受。优秀的造型与色彩设计即可以节省物力和财力,又可以获得最大的经济效益。

10. 可靠性试验

根据技术条件要求和产品的特殊用途,有时要对模拟产品和试制产品进行可靠性试验或人工环境试验,分析试验的结果,验证设计的正确性和可靠性指标。

由此可见,电子设备的结构设计包含相当广泛的技术内容,它是一门边缘学科,包括有力学、机械学、化学、电子学、热学、光学、工程心理学、环境科学等多门基础学科的综合应用。本教材不可能对上述的各个方面作全面阐述,而只能重点地介绍有关设计的部分重要内容。

1.3 电子设备的设计与生产过程

电子设备的寿命周期可分为四个阶段:构思与初步设想、设计与研制、制造与生产、运行与维修。前三个阶段可体现出产品的制造费用和用户的购置费用,最后一个阶段则体现了产品的使用价值,即产品的使用效果和使用期。用户的要求是以最低的购置费用,在尽可能长的时间内得到可靠的使用效果,产品设计制造者的目标应是最大限度地满足用户的要求,达到产品的性能指标,并符合其使用条件。

1.3.1 电子设备设计制造的依据

1. 产品的性能指标

产品性能指标包括电性能指标和机械性能指标。前者主要有电信号幅度的标量(如灵敏度、输出功率等)、电信号频率的标量(如频率的精度、准确度和稳定度等)、电信号的波形标量(如调制度、非线性失真和噪声抑制等);后者主要有各类移动、旋动及传动的精度(如随动系统的跟踪度、定位系统的精度和细度等)及其结构强度。此外,不同产品尚有一些特殊的性能指标和运输、存储条件。

2. 产品的环境条件

产品的环境条件主要指气候条件、机械作用力条件、化学物理条件(如金属的腐蚀、非金属的老化、酸碱粉尘、盐雾侵蚀及生物霉菌等)和电磁污染条件(各种干扰信号的侵入和辐射)。

3. 产品的使用要求

产品的使用要求主要包括对产品体积、质量、操作控制和维护的要求。

4. 产品可靠性和寿命要求

产品可靠性和寿命要求主要包括产品的无故障工作时间长和承受过负荷的能力强。

5. 产品制造的工艺性和经济性要求

产品制造的工艺性和经济性要求既要易于组织生产又要造价低廉,其设计应根据产品的用途性质(军用、民用、高可靠性及一般可靠性)、使用场合和产品自身的级别,参照国内、外同类型先进产品型号,进行设计方案的论证;应致力于性能价格比的提高,不要盲目追求高性能、高精度指标,使得制造工艺复杂、成本增高。

1.3.2 电子设备设计制造的任务

1. 预研究阶段

预研究工作的任务是在产品设计前突破复杂的关键技术课题,为确定设计任务书、选择最佳设计方案创造条件;或根据电子技术发展的新趋向,寻求把近代科学技术的成果应用于产品设计的途径,有计划地研究新结构、新工艺和新理论,以及采用新材料、新器件等先行性技术课题,为不断在产品设计中采用新技术,创造出更高水平的新产品奠定基础。该阶段的工作,一般按拟定研究方案、试验研究两道程序进行。

(1) 拟定研究方案,明确目的,确定研究工作方向和途径

其主要工作内容有:

- ① 搜集国内、外有关技术文献、情报资料,必要时调查研究实际使用中的技术要求。
- ② 编制研究任务书,拟定研究方案,提出专题研究课题,明确其主要技术要求。
- ③ 审查、批准研究任务书和研究方案。

(2) 解决关键技术课题,得出准确数据和结论

试验研究是为了通过研究探索工作解决关键技术课题,得出准确数据和结论。在试验研究中,应善于利用现有的技术基础进行新的科学试验,善于利用模拟或代用的方法取得试验数据。主要内容有:

- ① 对已确定各专项研究课题,进行理论分析、计算,探讨解决的途径,减少盲目性。
- ② 设计、制造试验研究需要的零件、部件、整件、必要的专用设备和仪器。
- ③ 展开试验研究工作,详细观察、记录和分析试验的过程与结果,掌握第一手资料。
- ④ 整理试验研究的各种原始记录,进行全面分析,编写预先研究工作报告。

预研究工作结束时,应达到的目标是:出具整理成册的各种试验数据记录、各项专题的试验研究报告等原始资料,出具预研究报告书。

2. 设计性试制阶段

凡自行设计或测绘试制的产品,一般都要经过设计性试制阶段。其任务是根据批准的

设计任务书, 进行产品设计, 编制产品设计文件和必要的工艺文件, 制造样机, 通过对样机全面试验, 检查鉴定产品的性能, 从而肯定产品设计与关键工艺。一般工作程序如下所述。

(1) 论证产品设计方案, 下达设计任务书

其主要工作内容有:

- ① 搜集国内、外有关产品的设计、试制、生产的情报资料及样品。
- ② 调研使用的需要情况及实际使用中的技术要求和经验, 确定试制产品目标。
- ③ 会同使用部门编制设计任务书草案, 同时提出产品设计方案, 论证主要技术指标, 批准下达设计任务书。

(2) 进行初步设计和理论计算

其主要工作内容有:

- ① 进行理论计算, 按计算结果, 对产品或整个体系的各个部分合理分配参数。
- ② 通过必要的试验, 进一步落实设计方案, 提出线路、结构及工艺技术关键的解决方案。
- ③ 编制初步设计文件。
- ④ 对需用的人力、物力进行概算。

(3) 进行技术设计

技术设计的主要工作有:

- ① 根据对技术指标的修正意见, 进一步调整分配产品的部分参数。
- ② 拟定标准化综合要求。
- ③ 编制技术设计文件。
- ④ 对结构设计进行工艺性审查, 制定工艺方案。

(4) 进行样机制造

样机制造的主要工作有:

- ① 编制产品设计工作图纸与必要的工艺文件。
- ② 设计制造必要的工艺装置和专用设备。
- ③ 通过试验掌握关键工艺和新工艺。
- ④ 制造零、部、整件与样机。
- ⑤ 对样机进行调整, 进行性能试验和环境试验, 对是否可提交现场试验做出结论。

(5) 现场试验与鉴定

主要工作有:

- ① 通过现场试验检查产品是否符合设计任务书规定的主要性能指标与使用要求, 试验编写技术说明书。
- ② 组织鉴定, 对能否设计定型作出结论。