



21世纪全国高校应用人才培养电子电工类规划教材

电子产品设计

DIANZI CHANPIN SHEJI

何元清 编著

3



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TN02

17

2006

21 世纪全国高校应用人才培养电子电工类规划教材

电子产品设计

何元清 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从理论与实践两方面,介绍电子产品的设计方法和步骤。各章内容都围绕工程设计需要这个目的。第1章介绍怎样作一个设计者和开展设计,第2、3章介绍设计步骤和方法,第4、5章介绍基本电路和单元电路的设计,第6章用两个例子介绍整机设计的方法。

本书适用于电子类工科大学或高职毕业生及其他设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子产品设计/何元清编著. —北京:北京大学出版社, 2006.8
(21世纪全国高校应用人才培养电子电工类规划教材)
ISBN 7-301-10573-8

I. 电… II. 何… III. 电子产品—设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TN02

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第013213号

书 名: 电子产品设计

著作责任者: 何元清 编著

责任编辑: 黄庆生 刘 标

标准书号: ISBN 7-301-10573-8/TM·0008

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×980毫米 16开本 23.5印张 500千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

定 价: 39.00元

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

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

电子产品的设计是产品开发和性能好坏关键的一环。没有好的设计,任凭制造者有多高的制造手段与好的措施,都不可能生产出好的产品来,甚至于导致产品根本不能交付使用,需要返工重新设计,造成时间、人力、经费的浪费。

产品的设计,纯粹是人为的。设计者的技术水平、思维方法和工作作风,是决定设计质量的重要因素,而这些因素不仅来自于理论,还来自于工作实践。因此,设计者从开始步入设计工作那一天起,就应当以高的技术水平、正确的思维方法和良好的工作作风要求自己。但是,这三项要求不是短时间内就能达到的,对于开初步入设计工作的设计者,他们首先需要知道的是怎样着手进行设计,这个问题,对许多初学设计者而言,常常会产生误解,以为能画出图来,就是会设计了。这是片面的,还有许多问题要考虑。

本书的目的就是要告诉读者怎样成为一个设计者,开展设计的条件、方法和步骤,各设计阶段应当做些什么工作等,使初学设计者能较为顺利地步入设计环境,并较快地进入状态。

为了方便设计者,本书对设计常用的元件与电路基础也做了有限的叙述,并以两个整机设计为例,说明产品技术要求的分析方法和第一阶段软、硬件的设计过程。

本书可作为电子技术类工科大学或高职毕业生参加工作后的阅读资料,初学设计者的培训教材或参考书,也可供其他设计者参考。

本书在初稿写成后,曾得到七零六所资深研究员杨荫溥副所长的支持和帮助,在此致以感谢。

由于本人的技术水平、工作经验有限,观点、方法和技术方面的错误在所难免,诚望各位同仁和读者给予指正。

作 者

2006年1月

目 录

第1章 设计概述	1
1.1 阶段设计与全程控制	1
1.2 进入设计	1
1.2.1 认识对象	1
1.2.2 创造设计环境	2
1.3 设计的注意事项	3
1.4 对设计师的要求	5
1.5 几点说明	5
第2章 电子产品设计的一般流程	7
2.1 流程框图	7
2.2 流程说明	8
2.3 流程各阶段的工作内容及形成的文件	9
2.3.1 需求性论证	9
2.3.2 拟定任务书	9
2.3.3 方案报告	9
2.3.4 总体设计	10
2.3.5 硬件设计	11
2.3.6 硬件试验准备	12
2.3.7 软件设计	12
2.3.8 硬件试验	12
2.3.9 软、硬件联调	13
2.3.10 结构设计	13
2.3.11 模型(样机)组装与调试	14
2.3.12 样机(或模型)评审	15
2.3.13 样机修改	15
2.3.14 小批量生产(试产)	16
2.3.15 批量生产	17
2.3.16 关于几个文件的说明	17
第3章 设计方法	19

3.1	总体(系统或整机)设计	19
3.1.1	整机的总体方案	19
3.1.2	选定单元电路	20
3.1.3	拟定软件结构	20
3.1.4	拟定机械结构	20
3.1.5	论证方案的可实现性	20
3.2	电路设计	20
3.2.1	模拟电路设计	20
3.2.2	数字电路设计	21
3.3	程序设计	31
3.3.1	总体设计	31
3.3.2	详细设计	31
3.4	结构设计	32
3.5	可靠性设计	33
3.5.1	产品的可靠性估计	33
3.5.2	产品的可靠性设计方法	34
3.6	防干扰设计	37
3.6.1	干扰的来源	37
3.6.2	硬件抗干扰设计	39
3.6.3	软件抗干扰设计	52
3.7	稳定性设计	52
3.7.1	线性电路的稳定性	52
3.7.2	数字电路的稳定性	54
第4章	元件与电路基础	55
4.1	关于基本元件和电路的说明	55
4.2	R、L、C元件和基本电路	56
4.2.1	电阻	56
4.2.2	电容	58
4.2.3	电感(自感)	68
4.2.4	互感	78
4.3	简单晶体管放大器	80
4.3.1	简单晶体管放大器概述	80
4.3.2	晶体管参数随温度的变化	82
4.3.3	单管交流放大器	84
4.3.4	单管直流放大器	103

4.3.5	单级晶体管差动放大器.....	110
4.3.6	场效应晶体管(简称场效应管)放大器概述.....	119
4.4	多级放大器.....	127
4.4.1	多级交流放大器.....	127
4.4.2	多级直流放大器.....	133
4.4.3	多级差动放大器.....	137
4.4.4	多级直流放大器的频率特性.....	138
4.5	集成电路放大器.....	139
4.5.1	集成电路放大器的结构特点.....	139
4.5.2	集成电路放大器的分类.....	142
4.5.3	集成电路放大器的基本应用.....	142
4.6	基本数字电路.....	148
4.6.1	数字电路用的晶体管.....	148
4.6.2	门电路.....	149
4.6.3	触发器.....	154
4.6.4	驱动器.....	165
4.6.5	整型器(变压器型、施密特型).....	165
4.7	开关.....	166
4.7.1	机械开关.....	167
4.7.2	电子开关.....	167
4.8	变换器.....	171
4.8.1	频率变换器(分频与倍频).....	171
4.8.2	V/I变换器.....	173
4.8.3	V/F变换器.....	174
4.8.4	F/V变换器.....	176
4.8.5	DC/DC变换器.....	179
4.9	变压器.....	182
4.9.1	对变压器的要求.....	182
4.9.2	铁芯的选取.....	184
4.9.3	绕组(线圈)的计算.....	185
4.9.4	绕组的结构.....	186
4.9.5	变压器的工艺处理.....	186
4.10	光电耦合器.....	187
4.10.1	半导体光电转换的原理.....	187
4.10.2	二极管光电耦合器.....	189

4.10.3	三极管光电耦合器	189
4.10.4	光电耦合器的用途	190
第 5 章	单元电路的设计	191
5.1	放大器的应用电路设计	191
5.1.1	放大器的基本应用电路	191
5.1.2	运算放大器	191
5.1.3	电压比较器	218
5.1.4	采样-保持电路	219
5.1.5	峰值检波器	221
5.1.6	振荡器(信号发生器)	223
5.1.7	滤波器	243
5.2	数字电路的单元电路设计	260
5.2.1	方波(脉冲)振荡器	260
5.2.2	单脉冲产生器	266
5.2.3	方波边沿振荡抑制电路	266
5.3	模拟-数字混合电路	268
5.3.1	D/A 转换器	268
5.3.2	A/D 转换器	278
5.3.3	多路开关	282
5.3.4	模拟-数字混合电路的设计考虑	283
5.4	稳压电源	283
5.4.1	模拟稳压电源	284
5.4.2	开关稳压电源	297
5.4.3	基准电源	299
第 6 章	系统(整机)的设计	303
6.1	数据采集系统	303
6.1.1	数据采集系统的技术指标	304
6.1.2	设计考虑	305
6.1.3	电路设计	318
6.1.4	电路板 CAD	328
6.1.5	输入/输出连接	329
6.1.6	程序设计	329
6.1.7	结构设计	329
6.1.8	设计文件(技术资料)	330
6.1.9	高速数据采集 A/D	330

6.2 工件自动测边仪	330
6.2.1 测边仪的工作原理	330
6.2.2 测边仪的技术指标	332
6.2.3 设计考虑	333
6.2.4 电路设计	339
6.2.5 程序设计	348
6.2.6 结构设计	355
6.2.7 电路板 CAD	355
6.3 结束语	355
附录 相关资料、数据	356
参考文献	363

第 1 章 设计概述

1.1 阶段设计与全程控制

电子产品的形成，基本上分成两个阶段：设计与生产。在定型投产之前的一切工作，都属于设计工作。从方案设计开始，到定型评审、技术移交结束，所有需要开展的工作和需要解决的问题，都是设计者的职责。

1. 阶段设计

阶段设计包括：方案设计、总体设计、电路设计、结构设计、程序（软件）设计、试验与调试、阶段评审、修改、各种技术文件的编写等。

2. 全程控制

上述各阶段的工作，组合在整个开发计划的进程之中。在制定开发计划时，对各阶段的工作量和可能出现的问题，预先有一个基本的估计，但在实施过程之中，会发现预先估计有所不当或因客观情况产生的意外，如元器件和材料供货不及时，加工周期延误等，使原计划不能按期执行。这时，设计者应及时与管理部门或上级商讨协调，或调整工作内容，或催促有关单位执行合同。

1.2 进入设计

怎样才能进入设计？答案是认识对象、把握关键、创造环境。

1.2.1 认识对象

作设计与其他任何事情一样，首先要明确你要作的是什么。电子产品的设计，不论是

完全自行开发，还是功能仿制，都要弄清楚你要做的是一个什么样的产品，是以软件为主还是以硬件为主，产品的使用环境与结构有无特殊要求，主要难点是什么。这些问题，在你接受任务之后，着手设计之前，必须弄清楚。

在电子产品的制造中，开发、功能性仿制与完全仿制是不同的。

1. 仿制

有现成的样品，包括整机、部件和软件清单。样机的整机和部件可拆卸、可见、可测绘，甚至连图纸、软件拷贝和技术说明都有，不需要设计者为弄清楚它的技术性能而花费很大的功夫。要做的仅仅是样机测绘、结构设计、印制板 CAD 及工艺、材料、生产指导书、人员、经费的准备和安排，要解决的主要是工艺与材料可能存在的问题，没有电路、软件设计与研制的困难。

2. 功能性仿制

知道某种设备的用途和主要技术性能，为了某种需要（技术或经济的目的）而制作。但设计者没有那种设备的样品，或者有样品而不能或不敢拆卸，拆卸后可能导致设备的损坏或不能复原而报废，造成大的损失；或者硬件可见而软件不知，即便结构与硬件能作出来，没有软件去驱动它而成为一堆无用之物。因此，设计者要做的工作是很多的。

（1）无样品时，按已知设备的功能和技术指标，推测它可能的软、硬件的组成部分，确定外形和内部结构，然后进行相应的设计。

（2）有样品，但无软件资料，这种情况下，电路硬件和结构有据可依，对样品进行测绘和电性能测试，取得资料与数据，经过分析，推测可能的软件结构与流程，结合已经取得的硬件资料，论证它的合理性与可实现性。这样，设计者对仿制的对象就有了一个初步的认识，然后就可以进入设计了。

有些情况下，功能仿制的难度，不亚于新产品开发的难度。

3. 新产品的开发

新产品的开发是根据市场或技术的需要，确定产品的功能和技术指标，对电路、机械结构和软件进行设计。这些功能和技术指标，可能是根据需要由设计者自己确定的，这样就已经明确了对对象的技术要求；也可能是他人的要求，这时，设计者应当详细了解他人提出这些功能与技术指标的依据和确切含义，弄清楚它们的合理性与关键点。只有这样，对产品有了认识，才可以进入设计。

1.2.2 创造设计环境

设计环境是必需的，又是需要设计者自己创造的。

1. 建立协作关系

要开展一项设计,需要多人、多条件、多方面的配合。现代的电子产品,往往由电路、软件、结构三要素构成,设计者很难单独完成这三方面的工作。特别是规模较大的产品,可能包含多种电路、机电部件、光电组合、通信、多功能控制软件、复杂的机械结构等,是单独一个人不可能完成的。即使是小的电子产品,电路不复杂,软件也很小或没有软件,结构也很简单,有可能一个人就可以做了,但元件的采购、机壳的加工、试验需要的仪器设备等,总得依赖或有求于他人。因此,设计者需要与有关方面商讨如何组织技术队伍,确定协作单位。在一个公司或部门供职,就应和上级主管及相关各部门取得联系,(直接或通过会议)向他们阐明你的需要,考察是否具有或能否创造必要的设计条件。

稍大项目的设计者,就是技术实施的组织者,调动同事、横向各部门和上级的积极性,创造出开展设计的条件,取得各方面的协同和支援,是必要的。否则,设计很难进行。

2. 建立物质平台

要开展设计,在电路与软件方面,最低需要是一张办公桌和一个摆放相关设备的工作台或试验台。较大一点的项目,应建立专用的或兼用的实验室。相关的设备、仪器应当具备(借用或购置)。实验室应当在合适的环境中,譬如,应有灯光和供电,无妨碍工作和有害于产品的污染和噪声等。还应有必要的加工场所,如机械加工车间、电路板焊装车间、印制板生产厂等,或者在本公司,或者有外协单位。

1.3 设计的注意事项

1. 注意做好方案和解决关键问题

方案设计时,对可行性、关键的技术、元件,要作认真地分析,为开发工作提供进展依据和重点注意事项。电子产品的设计,特别是大的电子产品,若方案设计(规划)不周密或有错误,会造成不应有的人力、物资、经费、时间的损失。

2. 设计稳定可靠的产品

软、硬件设计,不仅仅是要实现所需要的技术功能指标,还必须稳定可靠,这包括以下四方面的内容。

(1) 电路结构与布局正确、合理。

(2) 参数选取要有一定的余量,使电路工作范围要有一定的富裕度。

(3) 有噪声抑制和抗干扰的措施。

(4) 技术性能指标要留有余地,即产品实有的技术性能必须优于标称的技术性能指标。

3. 任何设计都必须以实验确认

在设计完成后,对设计的电路要进行组装和通电调试,以检验和修正所设计的电路结构参数,这是保证设计正确性的重要实践,是很有必要的,舍此很难达到预期的结果,其主要原因包括以下四点。

(1) 在设计时的参数计算中,某些参数的计算很复杂,或者方程式很难解,必须作一些假定或近似处理,才能求得结果,这样,计算出来的数据必然有误差。

(2) 元件制造的局限性,使得取值有间隔,计算出来的数值和元件的标称值不尽相同,只能取相近的标称值代用,也会带来误差。

(3) 元件本身的误差和离散性(同一标称值下的实际值不同)很大,也会造成与设计需要值的误差,这在电容元件中特别突出。

(4) 设计者的规划和计算,难免有遗漏和错误。

这些因素都会造成偏离理想的设计。因此,必须经过实验来检验设计的结果,调整和确定各元件的参数值,并对元件的误差提出要求,以满足一定的设计容限的要求。这一点,对任何电路都是适用的。

有的初做电子产品的设计者,以为用仿真软件(如 Protel 99 中的电路仿真)就可以设计出正确电路,那是不现实的。大概没有哪个诚实的电子产品设计者敢保证他的设计不经实验就可以投产、销售。

4. 要根据条件决定设计

(1) 所需要的元器件和材料的来源是否有保障,采购是否方便,价格能否接受。

电子产品设计时,主要元器件和材料选用的制约因素是产品来源和价格。根据产品的技术要求,设计者可以初步确定可用的元器件和材料,但是,由于技术的发展和市场因素,那些元器件可能停产了,或者虽未停产,但无条件采购,或采购周期太长,或价格太贵,所以,设计者必须根据可能的情况去选用元器件和材料。当然,对于特殊需要另当别论。

(2) 加工有没有难于解决的特殊工艺要求,其工艺所需要的经费对设计的产品是否值得。

5. 优化设计、降低产品成本

设计时,在完成所需要的功能、技术指标、满足稳定可靠的前提下,尽量简化结构、降低成本,不追求所谓的新型号、新技术。在有必要采用性能先进的新产品时,应特别注意这个问题。当然,对于不以利润为主要目标的设计,另当别论。

6. 外型美观, 结构轻便

结构、造型应尽量小巧、轻便、美观, 与所在系统或环境协调。

1.4 对设计师的要求

1. 认真对待本职工作

设计的组织者和参与者, 对于自己所承担的任务, 应当尽心尽力, 做好工作。做完一项规划、画完一张图、编写完一段程序后, 应当仔细检查, 自问一下对不对, 还有什么错误或不足, 虽然做不到万无一失, 至少要做到自认为可以了, 才能付诸电路试验、软件调试, 否则, 会造成一些不必要的损失。

2. 设计的主持者应有基本的工作经验

设计的主持者至少应有过电路设计与实验、软件编写与调试的初步经验, 有结构设计和加工过程的基本概念, 否则, 你最好先当参与者。

3. 对设计全程负责

这一点, 对设计的主持者是不言而喻的, 主要是提醒设计的参与者, 如果你做的是产品的一个部件, 认为在交付联调时已得到过设计主管的认可任务就已完成, 那是不正确的, 因为那时的认可, 或许是问题未暴露, 或许是检查或考虑不周到。认真负责、积极主动、相互协作, 才能做好产品的开发。

1.5 几点说明

(1) 本书为电子产品的设计者、特别是初作电子产品的设计者, 提供一点设计的经验和方法, 着眼于设计的工程应用, 而不是为电路的理论讲述。所涉及的技术范围, 局限于本人的工作面和理解, 因此, 不具有全面性和系统性, 仅作为电路设计工作者的参考。

(2) 本书所说的“电子产品”, 指低压工作电子产品。所谓低压, 一般界定为 36V, 约等于最低强电压 (110V) 的 1/3, 这个电压, 对人体没有伤害。

(3) 本书中涉及的原理与计算, 尽量偏重于工程应用, 对必要的计算和概念, 尽量叙述得详细一点, 以求对参考者有所补益。这可能显得烦琐, 对推演过程不感兴趣者, 可以

只看结论。

(4) 电路设计往往采用经验取值和理论计算相结合。经验取值很快,但适用范围有限;理论计算比较繁难,阅读起来也感到枯燥无味,但它的适用范围较宽,正确性较高,并且,对初涉足电路设计者而言,经验较少,必须经过理论计算的训练,以逐渐从计算中积累经验。

(5) 第4章元件与电路基础,可作为讲授电子线路或初做设计者参考,有经验的工程设计者,不必参阅。

第 2 章 电子产品设计的一般流程

2.1 流程框图

电子产品设计的一般流程如图 2.1-1 所示。

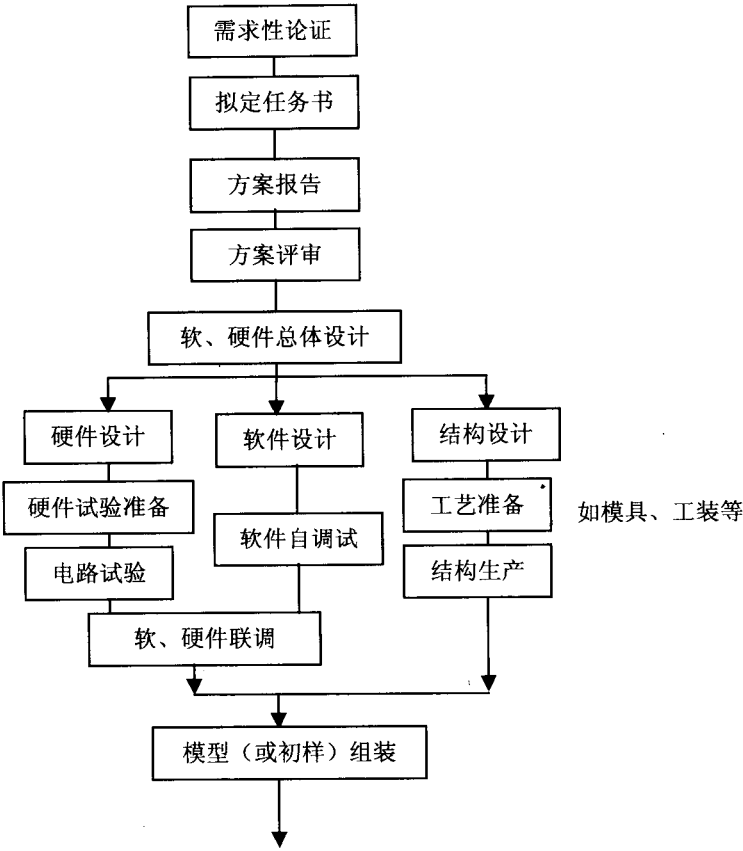


图 2.1-1 电子产品开发流程图

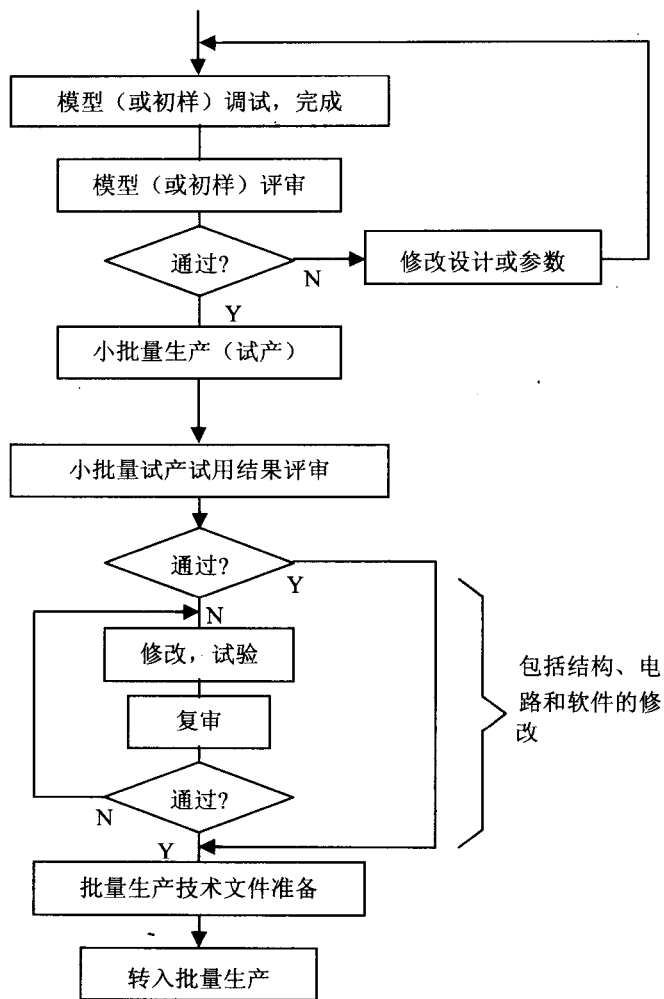


图 2.1-1 电子产品开发流程图（续）

2.2 流程说明

- (1) 简单的电子产品，根据情况，对上述流程各阶段可有取舍。
- (2) 重要的电子产品，可以将模型和初样分成两个阶段，每个阶段后都作评审。
- (3) 电子产品的开发和机械产品的开发各有特点，流程也有所差异。例如，电子产品