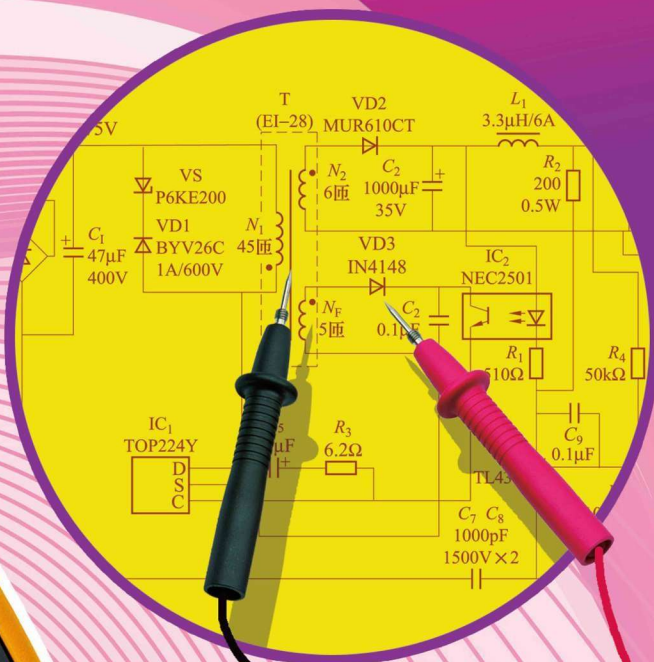


实用电子电路 设计与调试

陈梓城 胡敏敏 陈红春 楼晓敏 编著

(电源电路)



实用电子电路 设计与调试

陈梓城 胡敏敏 陈红春 楼晓敏 编著

(电源电路)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书对常用电源电路的设计和调试方法进行详细介绍,其中包括电子电路设计与调试综述、硅稳压管稳压电源设计与调试、三端线性集成稳压器应用电路设计与调试、基准源电路设计、开关电源电路设计与调试、DC/DC 电源变换器及其应用电路设计、AC/DC 电源变换器及其应用电路设计以及电源电路抗干扰措施和电源电路的热设计等。本书对各电路的组成、各元器件功用作简要介绍,对元器件选择给出估算公式或经验数据。本书编入电源种类较多、较全。全书由简到繁、由易到难,给出较多设计示例和较多元器件参数表。

读者通过对本书的学习,对电源电路的设计与调试会有一清晰的思路,具备基本的电源电路设计能力和调试能力。本书适合大学、高职学校电类专业高年级学生、电类专业高级技工和工程技术人员,也可作为高等院校电源电路设计课程的教材以及课程设计、毕业设计参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用电子电路设计与调试. 电源电路/陈梓城等编著. —北京:中国电力出版社, 2011. 10

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2175 - 5

I. ①实… II. ①陈… III. ①电源电路 - 电路设计②电源电路 - 调试方法 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 202959 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 443 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

刚参加工作的电子技术人员和大、中专学生在电子电路设计和调试过程中，常为缺乏较系统、较完整的参考资料、参考文献而犯难，给工作和学习带来不便。原因有三：一是所需资料散落在浩渺的参考文献之中，寻找困难；二是不少参考文献言犹未尽，有的缺乏依据，使人将信将疑；三是有的电路尚无可信有据的元器件参数估算公式。电子电路调试是电子工程技术人员的基本功，在校学习期间通过实验、实习、实训进行过电子电路调试训练，这大都在实验室条件下进行的，常和工程实际有一定差距且没有将实验技术进行系统的概括总结。为解决上述问题，编者编著了《实用电子电路设计与调试》一书，于2006年由中国电力出版社出版。出版后得到广大读者的厚爱，并提出不少意见和建议。为使电路设计方法介绍更系统、详尽，在原书基础上，增加了新的设计方法与调试实例，将其改编出版，其中分《实用电子电路设计与调试（模拟电路）》、《实用电子电路设计与调试（数字电路）》、《实用电子电路设计与调试（电源电路）》3册陆续出版。

丛书编写过程中体现以下指导思想。

(1) 规范性。克服电子电路设计时电路一抄了之，不对元器件进行选择计算的倾向，力求做到电路设计元器件选择有理有据，有设计计算公式的代入公式计算，然后根据计算结果，查阅手册选择元器件，无设计计算公式的则根据经验选用，并加以说明，使之科学、规范。

(2) 实用性。编入实用经验和大量设计实例，融入工程实践和教学经验，增强实用性。

(3) 完整性。给读者一个较清晰的常用基本电子电路设计思路、设计方法和调试技术知识及较完整、较系统的电子电路设计、调试方法步骤，具有较强的针对性、系统性。

(4) 直观性。书中给出较多的单元电路设计示例，为读者提供单元电路形成实用系统的实例及设计范例。读者可仿照示例进行训练，培养电子电路设计能力和调试能力。

(5) 先进性。突出集成电路的应用，适应电子技术发展新形势，加强先进性。

在本书编写过程中，尽力体现丛书编写指导思想，并注意了以下问题。

(1) 编写时以《模拟电子技术基础》、《自动控制原理》为基础，简要介绍电路原理及元器件引脚、功用，一般不进行公式推导。

(2) 集成电路应用日益广泛，分立元件应用日渐减少，所以本书把重点放在电源集成电路的应用电路设计上，除广泛应用的硅稳压管稳压电路外，不介绍其他分立元件电路，只对较多的专用集成电路及其设计实例进行介绍。

(3) 编写过程中本着有所为有所不为的原则，不介绍相控电源电路，突出集成电路应用，但也不是对所有集成芯片进行介绍。通过设计示例，对典型电路设计进行详尽的介绍，使读者有清晰的设计思路，掌握设计计算方法。其他芯片和电路的读者可仿照示例自学，达到举一反三，触类旁通。开关电源电路主要介绍PWM电路，控制集成电路仅介绍

UC3842/3/4/5、TL494、SG3525/27A 等 3 种常用 PWM 控制集成电路以及三端单片开关集成稳压器等。

(4) 编者力图把本书编著成设计过程较详尽、规范的科技书。电源电路设计的科技书较多，其内容也较多，而较全面、系统地介绍电源电路设计调试的书较少。本书介绍了其他科技书较少介绍的内容，如 DC/DC、AC/DC 电源变换器应用电路设计，线性稳压集成稳压器组成的从 0V 连续可调稳压电路设计等。

(5) 书中给出较多的应用电路设计示例，开关电源设计选了启动电路，电压反馈环节较复杂、多路输出、多路取样的电路，为读者提供设计范例。读者可仿照示例进行训练，培养电子电路设计能力。

本书适合大学、高职电类专业高年级学生、电类专业高级技工和工程技术人员，也可作为高校电源电路设计课程的教材和电源电路设计、毕业设计的参考书。书中所述设计方法并不是唯一的，学习的高境界是学以致用、解决实际问题，希望读者通过本书的学习，能举一反三，在实践中解决以前未遇到的问题。

本书第 4 章由楼晓敏执笔，第 5 章由陈梓城、胡敏敏合编，第 6 章、3.3 节、3.4 节由胡敏敏执笔，第 7 章由陈红春执笔，其余各章节由陈梓城执笔，全书由陈梓城统稿。

本书编著过程中得到徐振工程师的大力支持，提供了大量资料；编写时参考了大量参考文献，在此对参考文献的作者及关心支持本书的同仁、读者表示诚挚谢意。

由于编者水平有限，书中不当和错误之处在所难免，恳请同行、专家和读者指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 电子电路设计与调试综述	1
1.1 电子电路系统设计综述	1
1.1.1 电子电路系统设计的基本原则	1
1.1.2 电子系统设计、研制过程	2
1.1.3 单元电路（子电路）设计	6
1.2 电子电路调试技术综述	8
1.2.1 调试方案制定	8
1.2.2 调试前的准备工作	9
1.2.3 调试方法和步骤	10
1.2.4 调试注意事项	12
1.3 电源电路设计与调试概述	13
1.3.1 电源电路设计步骤	13
1.3.2 电源电路调试简介	14
1.4 电源技术指标及其测试	14
1.4.1 输入参数及其测试	14
1.4.2 输出参数及其测试	15
1.4.3 电磁兼容性性能指标	20
1.4.4 其他主要性能指标及其测试	20
第 2 章 硅稳压管稳压电源设计与调试	26
2.1 硅稳压管稳压电路组成及适用场合	26
2.2 硅稳压管稳压电路元器件选择计算	26
2.2.1 稳压电路元器件选择计算	26
2.2.2 整流滤波电路元器件选择	27
2.3 硅稳压管稳压电路设计示例	28
2.3.1 设计任务	28
2.3.2 设计说明	28
2.4 整流滤波电路调试及常见故障排除	29
2.4.1 整流滤波电路 $U_{O(AV)}$ 与 U_2 的关系	29
2.4.2 故障分析示例	30
2.5 硅稳压管稳压电路调试	30

第 3 章 三端线性集成稳压器应用电路设计与调试	31
3.1 三端固定电压稳压器应用电路设计与调试	31
3.1.1 三端固定电压稳压器分类	31
3.1.2 三端固定电压稳压器组成固定输出电路设计	31
3.1.3 三端固定输出稳压器应用电路设计示例	33
3.1.4 三端固定电压稳压器组成输出电压可调电路设计	35
3.1.5 三端固定式集成稳压器应用电路调试	36
3.2 三端可调集成稳压器应用电路设计与调试	37
3.2.1 三端可调集成稳压器分类	37
3.2.2 三端可调集成稳压器应用电路设计及其示例	37
3.2.3 三端可调集成稳压器组成输出电压从 0V 连续可调电路设计	42
3.2.4 三端可调集成稳压器应用电路调试	43
3.3 正负双集成稳压器及其应用电路设计	43
3.3.1 LW80 × × 系列固定输出正负双集成稳压器特点及其性能参数	43
3.3.2 LW80 × × 系列应用电路设计	46
3.4 低压差线性集成稳压器应用电路设计	46
3.4.1 便携式电子产品的电源要求与低压差线性集成稳压器	46
3.4.2 典型固定式低压差集成稳压器的应用电路设计	47
3.4.3 典型可调式低压差稳压器的应用电路设计	48
3.4.4 AIC1084 系列 5A 低压差可调稳压器应用电路设计	49
3.4.5 MIC29510/MIC29512 大电流低压差可调稳压器应用电路设计	51
3.4.6 MIC29710/MIC29712 大电流低压差稳压器应用电路设计	55
第 4 章 基准源电路设计	59
4.1 集成基准电压源综述	59
4.1.1 硅稳压管基准电压源的缺点	59
4.1.2 带隙基准电压源	59
4.1.3 集成基准电压源分类	60
4.2 MC1503、MC1403 基准电压源及其应用电路设计	61
4.2.1 MC1503、MC1403 性能及引脚排列、电路图形符号	62
4.2.2 典型应用电路设计	62
4.2.3 实现多路输出电路设计	63
4.2.4 提高输出电压的电路设计	63
4.3 ICL8069 型基准电压源及其应用电路设计	64
4.3.1 ICL8069 性能及引脚排列、电路图形符号	64
4.3.2 ICL8069 应用电路设计	64
4.4 LM399 精密基准电压源及其应用电路设计	65
4.4.1 LM399 精密基准电压源引脚排列、结构框图及电路图形符号	65

4.4.2	LM399 典型应用电路设计	65
4.4.3	LM399 组成 7V 以上输出电压电路设计示例	66
4.5	TL431 型可调精密并联电压基准源	66
4.5.1	TL431 工作原理、性能参数	67
4.5.2	TL431 应用电路设计	68
4.6	NCP100 型精密可调式基准电压源应用电路设计	70
4.6.1	NCP100 引脚排列和等效电路	70
4.6.2	NCP100 电路图形符号与基本应用电路及其稳压原理	71
4.6.3	NCP100 基本应用电路设计	72
4.7	集成恒流源器件及其应用	72
4.7.1	恒流源的分类	73
4.7.2	恒流二极管、三极管及其应用	73
4.7.3	4DH 系列可调式精密集成恒流源及其应用	78
4.7.4	LM334 型可调式精密集成恒流源及其应用	79
第 5 章	开关电源电路设计与调试	82
5.1	开关型稳压电源设计概述	82
5.1.1	开关型稳压电源的组成和特点	82
5.1.2	开关稳压电源的分类	83
5.1.3	开关电源电路设计步骤	84
5.2	开关电源功率变换电路	85
5.2.1	降压 (Buck) 型变换电路	85
5.2.2	升压 (Boost) 型变换电路	87
5.2.3	Buck-Boos 变换电路	88
5.2.4	Cuk 变换电路及非隔离型功率变换器优缺点	89
5.2.5	单端反激式变换器	90
5.2.6	单端正激式变换器	92
5.2.7	推挽式变换器	94
5.2.8	半桥式变换器	95
5.2.9	全桥式变换器	97
5.3	磁性元件设计	98
5.3.1	磁心材料概述	98
5.3.2	磁性元件设计流程	104
5.3.3	磁性材料的选择	105
5.3.4	磁心尺寸的选择	106
5.3.5	开关电源变压器设计	108
5.3.6	滤波电感器设计计算	113
5.3.7	磁性元件设计制作注意事项	114
5.4	滤波电容器和有源器件选用及尖峰电压吸收电路设计	116

5.4.1	滤波电容器的选用	116
5.4.2	常用功率开关管	118
5.4.3	肖特基二极管	120
5.4.4	快速恢复二极管	120
5.4.5	正激式、推挽型、半桥型和全桥型电路开关器件与整流二极管选用	121
5.4.6	反激式电路开关器件与整流二极管选用	122
5.4.7	输入整流滤波电路整流桥和整流二极管的选用	123
5.4.8	瞬态电压抑制器及其选用	123
5.4.9	尖峰电压吸收电路及其设计	125
5.5	开关电源主电路选型和设计所需参数初步估算	126
5.5.1	主电路的选型	126
5.5.2	硬开关与软开关电路的选择	127
5.5.3	开关电源设计所需参数估算	127
5.6	开关电源主电路设计示例	129
5.6.1	设计任务	129
5.6.2	设计说明书	129
5.7	控制集成电路选择	134
5.7.1	控制集成电路的选择综述	134
5.7.2	PWM 控制器分类	134
5.7.3	电流型 PWM 集成控制器 UC3842/3/4/5 及其应用	135
5.7.4	TL494 集成控制器及其应用电路	142
5.7.5	SG3525A/3527A 电压型 PWM 控制器及其应用	148
5.7.6	TOP Switch- II 三端单片开关集成稳压器及其应用	153
5.8	输出电压反馈电路和普通误差放大补偿器的设计	157
5.8.1	输出电压反馈电路设计	157
5.8.2	误差放大补偿器的设计	161
5.9	PWM 小功率多路输出开关电源设计示例	169
5.9.1	设计任务	169
5.9.2	设计计算与设计说明	170
5.10	单片开关电源应用电路设计	179
5.10.1	单片开关电源设计方法与步骤	179
5.10.2	单片开关电源快速设计法	188
5.11	开关电源电路的调试	192
5.11.1	开关电源调试方法步骤	192
5.11.2	关键测试点的选定与性能参数的测量	192
5.11.3	启动冲击电流和软启动测试	194
5.11.4	功能指标测试	194
5.11.5	开关电源电路常见故障分析、排除	195

第 6 章 DC/DC 电源变换器及其应用电路设计	197
6.1 DC/DC 电源变换器综述	197
6.1.1 DC/DC 电源变换器分类	197
6.1.2 电感式 DC/DC 变换器原理	197
6.1.3 电荷泵式 DC/DC 变换器工作原理	199
6.2 升压式 DC/DC 电源变换器应用电路设计	201
6.2.1 升压式 DC/DC 变换器及其主要特性参数	201
6.2.2 MAX619 电荷泵升压式 DC/DC 变换器及其应用电路设计	203
6.2.3 MAX608 高效升压式 DC/DC 变换器及其应用电路设计	204
6.2.4 MAX752 型 DC/DC 变换器应用电路设计	206
6.3 降压式 DC/DC 电源变换器应用电路设计	208
6.3.1 典型降压式 DC/DC 变换器主要特性	208
6.3.2 MAX1745 降压式 DC/DC 变换器及其应用	209
6.3.3 MIC4680 大电流降压式 DC/DC 变换器及其应用电路设计	211
6.3.4 VT103 降压式 DC/DC 变换器及其应用电路设计	213
6.4 极性反转式 DC/DC 电源变换器应用电路设计	215
6.4.1 极性反转式 DC/DC 电源变换器典型产品主要特性参数	215
6.4.2 AIC1652 极性反转式 DC/DC 电源变换器	216
6.4.3 MAX660 电荷泵式极性反转变换器	219
6.4.4 TCM850 系列带稳压功能电荷泵式极性反转变换器及其应用	221
6.5 多功能 DC/DC 电源变换器应用电路设计	224
6.5.1 多功能 DC/DC 变换器典型产品主要特性参数	224
6.5.2 LT1111 低功耗、多功能 DC/DC 变换器应用电路设计	224
6.5.3 MAX743 双输出 DC/DC 变换器应用电路设计	227
6.5.4 TCM680 正负倍压输出 DC/DC 变换器应用电路设计	229
第 7 章 AC/DC 电源变换器及其应用电路设计	231
7.1 AC/DC 变换器应用电路设计	231
7.1.1 HIP5600 型 AC/DC 变换器应用电路设计	231
7.1.2 HV-2405E 型 AC/DC 变换器应用电路设计	234
7.1.3 S405A 型 AC/DC 变换器应用电路设计	240
7.2 AC/DC 变换模块应用	242
7.2.1 WE08 × × /WH08 × × 系列 AC/DC 变换模块应用	242
7.2.2 WH12 × × 系列 AC/DC 变换模块应用	243
7.2.3 XGW05/XGW06 超小型 AC/DC 稳压模块应用	245
7.2.4 YM98 系列 AC/DC 稳压模块应用	245
7.2.5 YM99 系列 AC/DC 稳压模块应用电路设计	246

第 8 章 电源电路抗干扰措施	254
8.1 电磁兼容和抗干扰基础知识	254
8.1.1 噪声、干扰及电磁兼容性	254
8.1.2 噪声传播途径分类及其抑制措施	254
8.2 电源变压器抗干扰措施	255
8.2.1 高频尖峰脉冲在变压器中传播途径	255
8.2.2 抗干扰措施	255
8.3 电磁干扰 (EMI) 滤波器	258
8.3.1 电磁干扰滤波器概述	258
8.3.2 EMI 滤波器主要技术参数	258
8.3.3 EMI 滤波器设计	259
8.3.4 EMI 滤波器成品	260
8.3.5 EMI 滤波器安装注意事项	261
8.4 线性稳压电源抗干扰措施	262
8.4.1 抑制穿过稳压电源的噪声	262
8.4.2 抑制稳压电源本身噪声	263
8.5 开关电源抗干扰措施	264
8.5.1 串联型开关电源噪声分析	264
8.5.2 反激型开关电源抗干扰措施	264
8.5.3 开关电源整流二极管反向电流产生噪声的抑制	266
8.5.4 用铁氧体磁珠滤波器抑制高频噪声	267
8.5.5 改进开关电源装配工艺抑制噪声	270
8.5.6 开关电源高频变压器的磁屏蔽	270
第 9 章 电源电路的热设计	271
9.1 功率管和二极管热设计	271
9.1.1 功率管和二极管热设计基础	271
9.1.2 功率管和二极管的热设计原则	274
9.2 变压器和电抗器的热设计	274
9.2.1 铁损计算	274
9.2.2 铜损计算	275
9.2.3 温升计算	275
附录 电源电路设计常用元器件参数表	276
参考文献	289

第 1 章

电子电路设计与调试综述

1.1 电子电路系统设计综述

1.1.1 电子电路系统设计的基本原则

1. 满足系统功能和性能要求

电子电路系统设计、研制过程自始至终是设计者满足适应设计任务书中规定的系统功能和性能要求的过程。好的设计必须完全满足设计要求的功能特性和技术指标。

2. 电路简单、成本低、体积小

在满足功能和性能要求的前提下，电路越简单，元器件越少，失效率越低，可靠性越高，越经济。必须指出，设计过程中采用系统集成技术是简化系统电路最好的方法。

3. 电磁兼容性好

符合国际、国家电磁兼容性标准，是现代电子产品尤其是高速、高频电子产品和电子系统鉴定定型的必备条件。产品要经过电磁兼容性认证，所以一个电子系统应具有良好的电磁兼容特性，要进行电磁兼容性及抗干扰设计。实际设计时，设计结果必须满足给定的电磁兼容条件，以确保系统正常工作。如设计任务中未给出，应查阅国家电磁兼容性标准，按国家标准设计。

4. 可靠性高

电子电路系统的可靠性要求与系统的实际用途、使用环境等因素有关。一般情况下，大型电子系统必须进行可靠性设计。军品尤其如此，并专设可靠性设计师岗位从事可靠性设计、测试等工作。

任何一种工业系统的可靠性计算都是以概率统计为基础，因此电子电路系统的可靠性是一种定性估算，所得到的结果也只是具有统计意义的数值。实际上，电子电路系统可靠性的计算方法和计算结果与设计人员的实践经验有相当大的关系，所以设计人员应当注意积累总结经验，提高可靠性设计水平。

可靠性设计的基本知识、系统可靠性设计、电路可靠性设计、可靠性预计及可维修性设计基本原理受篇幅限制，本书不能一一介绍。可靠性设计有不少专著，请读者查阅。

5. 系统集成度高

高集成度的电子系统，必定具有电磁兼容性好、可靠性高、制造工艺简单、体积小、质量容易控制及性能价格比高等一系列优点，所以在设计电子系统时，应最大限度地提高集成度，这是设计电子系统必须遵循的重要原则。

6. 调试简便

电子电路设计时，必须同时考虑电路的调试问题。若一个电路系统，电子电路调试繁琐、困难或调试点过多，该系统质量难以保证，无法达到设计要求。

7. 生产工艺简单

生产工艺简单意味着以简单方式生产，成本低，质量易于控制。生产工艺是电子电路系统设计者应考虑重要问题，无论是批量生产还是试制的样品，简单的生产工艺会对电路制作和调试带来很大方便。

8. 操作简便

操作简单方便是现代电子电路系统的重要特征，只有操作简便的电子产品才有生命力、市场。

9. 节能

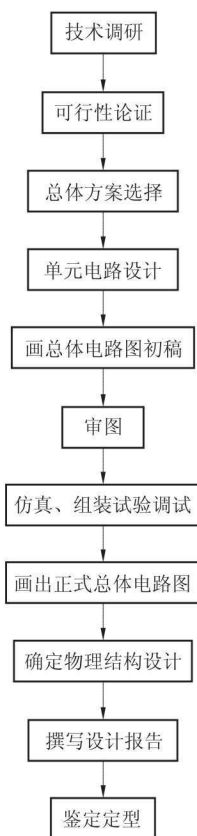
要求电子电路和电子系统效率高、耗电小。

10. 性能价格比高

研制电子产品、设计电子电路的目的是：① 实现社会价值，获得良好的社会效益；② 实现经济价值，获得良好的经济效益。企业要在取得良好社会效益的基础上实现利益最大化，这是利国、利厂（投资经营者）、利民（职工和用户）三者利益统一的好事，性能价格比高是设计者追求的重要目标。

通常我们希望所设计的电子电路能同时符合上述各项要求，但有时会出现互相矛盾的情况。例如设计中有时会遇到这样的情况：如果要使耗电最小或体积最小，则成本升高、可靠性差、操作复杂。在遇到矛盾的情况下，应视具体情况抓住主要矛盾来解决问题。例如对于用市电即交流电网供电的电子设备，在电路的总功耗不大的情况下，功耗大小不是主要矛盾。而对于用微型电池供电的航天电子仪器而言，功耗大小则是主要矛盾之一。

在设计过程中应注意运用“代价交换”原则。所谓“代价交换”是指牺牲一种次要性能为代价换取另一种必备性能的提高。最普通和最容易理解的例子是研制经费与设备性能之间的交换。费用也是设备的性能，但不是技术性能，它和许多性能之间都有矛盾，牺牲一些次要性能或功能以降低价格，或者不惜代价取得必要的高性能。



1.1.2 电子系统设计、研制过程

一个电子系统、电子设备的设计没有特定程式可循，尤其随着计算机科技发展，传统的设计方法与电子设计自动化共存，一个电子产品的设计、生产过程有很大差别，但设计过程大体相同。但凡产品设计，一般应先下设计任务书，根据任务书进行设计。对于一个电子系统、电子产品设计、研制的一般过程框图如图 1-1 所示。

图 1-1 电子系统、电子产品设计、研制的一般过程框图

1. 技术调研

技术调研目的是了解同类系统产品的国内、国际水平，现有系统或产品的主要优缺点、主要关键技术、技术难点及其解决途径、关键元器件和材料供应情况、拟赶超的技术等，同时搜集技术资料。调研方法可外出调研，也可在互联网上调研。

2. 可行性论证

可行性论证分为市场需求论证、经济可行性论证、技术可行性论证。

(1) 市场需求论证。市场需求论证的内涵是市场对该产品是否需要，何时需要，市场份额大小。市场论证是最重要的论证，它决定是否值得研制该产品，研制的最长允许周期（周期过长市场会被竞争对手抢占或市场需求消失），市场对产品哪些性能要求最高，有何特殊要求等。

(2) 经济可行性论证。是指进行成本估算和投资回报率的估算，同时考虑产品的社会效益。如效益很差，则取消项目，停止研制。

(3) 技术可行性论证。从技术角度论证能否在预定研制周期内完成质量合格的设计制造任务，并保证成本不高于预期目标。

3. 总体方案设计（选择）

所谓总体方案是指针对所提出的设计任务、要求和条件，从全局着眼，用具有一定功能的若干单元电路构成一个整体，来实现各项性能。在总体方案设计阶段不涉及具体电路，但涉及系统框图。总体方案设计的任务是把整个大系统划分为若干功能相对独立的分系统，确定各分系统的输入、输出信号及各分系统间的信号连接关系，对各分系统的功能做出规定，保证把分系统装接成大系统后能实现设计任务书给定的大系统功能。根据大系统性能指标，分配和制订各分系统的性能指标，如增益、带宽、时间延迟、脉冲宽度、幅度、前后沿等。制订各分系统必须遵守的内部协议，确定系统电源种类。确定各分系统之间的空间位置，并由此确定各分系统之间信号传输协议，插接件及插针定义。确定印制电路板的层次、层次分配及尺寸。设计过程中必须查阅并符合国际标准或国家标准，如电磁兼容性标准等。对自检和故障诊断提出建议，进行系统可靠性设计和可靠性指标分配等。

总体方案选择一般过程是：提出方案，分析各方案的可行性和优缺点，进行比较、选择。

现在较大的电子系统一般为智能系统，由硬件和软件共同完成，在总体设计时，要划分硬件和软件各自完成的功能及其接口关系。

总体设计是整个产品设计的关键阶段。对于较成熟的产品，设计人员也要进行反复计算，关键部分还要进行实验验证。在电子设计自动化中，总体设计就是所谓的“高层次设计”或“概念设计”。在高层次设计完成后，应立即进行高层次的仿真验证。其目的是避免总体设计不当引起后续工作大量返工，甚至推倒重来。如分系统仍显得过大，可按上述方法再次细化，把分系统进一步划分为更小的子系统。

4. 分系统设计

这里所说的分系统相当于电子设计自动化中的寄存器传输级（RTL），据此开展电路设计工作。如进行手工设计，设计者必须自己画出电路框图、电原理图，进行电路参数计算、元器件选择、安装原理样机、原理实验和性能测试和调整，并改进设计，最后定型。

如果分系统中包含软件，软件设计者（软件工程师）应进行软件设计，编写应用程序，调试时进行软件调试，并进行软硬件联调。

若用电子设计自动化工具进行设计时，设计者运用 EDA 软件自动完成门级以至 PCB 图的工艺设计并进行仿真验证。

5. 单元电路（子电路）设计

单元电路设计详细内容见 1.1.3 节。

6. 审图

在设计过程中有的问题考虑不周，参数计算有误在所难免。为确保设计质量，在画出总原理图初稿并计算参数后，一般要进行审图。以便发现原理图中不当或错误之处，使组装试验阶段少走弯路。尤其是较复杂电路在仿真、组装试验之前一定要对图样进行全面审查，必要时可请经验丰富的同行、专家一起审图。

审图时应注意以下问题。

- (1) 从全局观念出发，检查总体方案是否合理，有无问题，是否有更佳方案。
- (2) 检查各单元电路是否正确，电路形式是否合适。
- (3) 检查电路是否可以简化。
- (4) 检查模拟电路的各单元电路之间耦合方式有无问题。数字电路各单元电路之间电平能否正常配合、时序配合有无问题、逻辑关系是否正确，是否会产生冒险竞争。
- (5) 对图中标出的元器件型号、参数进行验算，能否达到性能指标，是否留有适当裕量。
- (6) 特别要检查电路图中各元器件能否满足安全要求，是否工作在额定值范围内。
- (7) 在解决所发现问题后，若改动较多应再次复查。

7. 仿真、组装试验调试

随着计算机广泛应用和 EDA 技术的发展，电子电路设计由电路组装、实验演变为仿真与组装试验调试相结合，仿真与组装试验调试成为电子系统、电路设计中不可缺少的步骤。仿真和组装试验调试要完成以下任务。

- (1) 检查各元器件的性能、参数、质量能否满足设计要求。
- (2) 检查各单元电路的功能和性能指标是否达到设计要求。
- (3) 检查各个接口电路能否起到规定的作用。
- (4) 将各单元电路组合起来，检查总体电路的功能，检查总电路性能参数是否达到或超过设计指标。
- (5) 在组装试验调试前要编制调试方案，按方案进行试验、调试。在试验、调试过程中，要做好试验、调试记录，为编制生产中调试工艺作准备。

8. 总体电路图绘制

在原理电路设计完成后，应画出总体电路图；在仿真、实验调试后，应绘制正式总体电路图。绘制的电路图应做到：布局合理、排列均匀、稀密恰当、图面清晰、美观、比例协调、便于读图、便于理解，并注意以下问题。

- (1) 注意信号流向。应从输入端或信号源画起，由左至右、由上而下按信号流向依次绘制各单元电路。
- (2) 总图尽量绘制在一张图纸上。如电路较复杂，需分绘数张图纸时，应把主电路绘

制在同一张图纸上，而把较独立或次要部分画到另一张图纸上，并在图的断口两端做好标记，标出信号从一张图到另一张图的引出点与引入点，以说明各图纸在电路连线之间的关系。

(3) 图形符号标准，符合国家标准或用国际通用符号。

(4) 连接线一般画成水平线或垂直线，并尽量减少交叉与拐弯。相接通的交叉线应在交叉处用实点标出。根据需要，可在连接线上加注信号名称或其他标记，表明其功能或去向。

9. 确定物理结构设计

物理结构设计包括电子设备的防护设计、电子设备、电子电路热设计、电子设备和电子电路的电磁兼容性设计、电子设备的减振与缓冲设计等。物理结构设计请参阅有关文献。

10. 撰写设计报告或设计说明书

设计报告又称设计说明书，是设计工作的总结，又是完成设计任务的技术文件。一般设计说明书包括以下内容。

(1) 课题名称。

(2) 内容摘要。

(3) 设计任务和要求。

(4) 总体方案选择论证。包含曾考虑过的方案框图，简要原理和优缺点以及所选定最终方案之理由等。

(5) 单元电路设计。包括电原理图、参数计算和元器件的选择。

(6) 绘出总体电路图，并标出关键节点的电位或波形图，说明电路工作原理。

(7) 仿真、组装与调试。包括：① 仿真方法与结果；② 调试用的主要仪器、仪表的名称、型号、生产厂家和生产年月等；③ 测试的数据、波形，必要时与计算结果比较，进行误差分析；④ 组装与调试的方法、技巧和注意事项；⑤ 调试中出现的故障现象、故障原因分析与排除方法。

(8) PCB 图设计文件及 PCB 图。

(9) 元器件清单。将所用元器件编号列表，包含序号、在图中的编号，名称、型号与规格、数量以及必要的说明等。

(10) 小结。需继续做的工作及改进建议。

(11) 参考文献。按国家标准列出，含作者、文献名称（刊物名称）、出版社地名、出版单位、出版时间、卷号。

11. 鉴定、定型

召开鉴定会聘请业内专家对产品进行鉴定，申请报批或厂内批准定型。

12. 设计中需注意的几个问题

(1) 方案论证。在方案设计阶段必须做好方案论证工作，即对每个提出的方案进行分析比较，比较优劣，最后综合出最佳设计方案，这样可以保证设计研制过程中不出现大的返工。方案中采取的每一技术措施都必须有充分论据。

把每一元器件型号的选用也要列作方案设计内容，因型号选取也会直接影响系统和产品的性能。例如中、低速电路中选用高速器件，不仅提高了成本，而且会增加对外部的电

磁干扰,不符合电磁兼容设计原则。在高频振荡回路中的电容必须用损耗较小的品种,如果设备的空间有限,还要考虑电容的体积尺寸,选体积小的电容器;再如电路所用运算放大器的选用,对性能指标无特殊要求时,一般选廉价通用的型号。但究竟选用什么型号,可有多种考虑,例如库房现有型号、价格最低的型号、市场供应货源充足的型号、最熟悉的型号等。

方案论证一般应召开方案论证会,广泛听取意见,对方案提出不同意见。例如外构件所选型号价格虽低,但该型号已绝版,不利于今后生产,应认真听取各种反对意见,分析论证是否合理。

设计时对单元电路中的元器件选用应有多种考虑,对于要采用的其他重要技术措施更应认真对待,充分论证。

在单元电路设计中,也有方案论证问题,如电路选用及改进方案论证、元器件选用等。设计者应在设计说明书中进行阐述,做到有理有据。

(2) 关于约束条件。设计任务中,大部分技术要求是很明确的,但也会有些很重要的设计要求在设计任务中没有明确提出,而包含在某种约束条件中,例如环境条件、经费限制、必用设备限定、研制周期、用户指定的材料等,在方案设计时,应认真分析予以解决。

(3) 标准化问题。对于一个正规企业应有专人管理标准化工作。标准化工作也是重要的技术工作。通过这一工作使得设计文件与设计产品符合国际标准或国家标准。

实际上如不符合标准,有时生产科研就无法进行。例如电阻、电容的数值要按标准系列选取,否则市场上买不到,除非到厂家定制。电阻的标称系列分7个,即E₃、E₆、E₁₂、E₂₄、E₄₈、E₉₆、E₁₉₂,其中E₃系列误差大于±20%,E₆是Ⅲ级精度(±20%),E₁₂是Ⅱ级精度(±10%),E₂₄是Ⅰ级精度(±5%)。E₄₈、E₉₆、E₁₉₂属于精密电阻系列,其精度从±2%~±0.5%,它们的阻值取三位数。系列中的数字表示该系列电阻包含的标称阻值的数量,例如E₁₉₂系列表示该系列有192个标称阻值,这些阻值可用式(1-1)计算得到

$$R_n = 100 \times (\sqrt[192]{10})^n \quad (1-1)$$

E₆~E₁₉₂电阻标称阻值可查表得到,标称阻值表见本书附表1、附表2。例如经设计计算要用75.5Ω电阻,查附表1、附表2得知,表中没有这个阻值,说明市场上买不到75.5Ω电阻,但经查附表2与75.5Ω相近的阻值是75.0Ω和75.9Ω,因此只能取与其相近的75.9Ω。

电容的标称系列与电阻相似,铝电解电容标称容量及允许偏差见附表3,固定电容器标称容量及允许偏差见附表4。

1.1.3 单元电路(子电路)设计

在选定总体方案后,便可画出详细框图,设计单元电路。单元电路就是基本的功能电路,单元电路设计很重要,它可能是整个系统中最基本的部分,只占几分之一甚至百分之一、千分之一。但大系统中的整体性能是由各单元电路性能来支持和保证。其中某一单元电路性能达不到要求,可能会使整个系统瘫痪或达不到预定设计目标。

单元电路设计包括以下几个步骤:①选电路,进行电路拓扑设计;②计算参数;