



北京市高等教育精品教材立项项目

电子信息科学与工程类专业 规划教材

电子系统设计

(第3版)

◆ 李金平 沈明山 姜余祥 编著

Electronic Information
Science and Engineering



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>

电子信息科学与工程类专业规划教材

电子系统设计

(第3版)

李金平 沈明山 姜余祥 编著



电子工业出版社

Publishing

ndustry

内 容 简 介

本书是依据高等工科院校电子技术实践教学大纲的基本要求,并结合作者多年的科研与教学的经验编写的。全书以电子系统设计为目标,系统讲解了元器件选择、传感器应用、信号调理电路、A/D 和 D/A 转换、可编程器件开发应用、单片机系统、驱动电路及智能电子系统的设计原理与设计方法,并提供了大量、翔实的设计实例。本书适应应用型人才的培养需求,具有先进性、实用性、系统性和灵活性。

本书可作为电气与电子信息类专业“电子系统设计”课程教材,还可作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材,也可作为电子系统设计技术人员的参考书。

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

电子系统设计/李金平,沈明山,姜余祥编著. —3 版. —北京:电子工业出版社,2017.6

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-31633-3

I. ①电… II. ①李… ②沈… ③姜… III. ①电子系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 119314 号

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

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:787×1 092 1/16 印张:25.5 字数:718 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版

2017 年 6 月第 3 版

印 次:2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价:56.00 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式:(010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

第3版前言

本书是在2012年编写的《电子系统设计(第2版)》基础上修订再版的。在第2版出版后的几年里,电子系统设计及应用技术有了很大进步,教学实践改革有了新的进展,采用第2版作为教材的学校不断增加,这些都要求本书修订后再版。

在修订过程中,遵循“保持特色、与时俱进、精选内容、突出应用、便于教学”的原则,依据现代电子信息领域对电气与电子信息类专业本科人才核心能力的要求,以培养电气与电子信息类专业本科人才的电子系统设计、应用能力为目标,力求跟踪电子信息技术动态,突出先进的现代电子系统设计技术,搭建适合电子技术应用型人才的、具有开放性的知识结构和具有创新意识的能力结构,提供更翔实的电子系统设计实例,使读者更便于全面地了解电子系统,特别是智能化电子系统的技术构成与特点,掌握先进的现代电子系统的设计技术及其设计方法。

本次再版虽然将原书的8章压缩为7章,篇幅有所减少,但仍保持了第2版教材的实用性、系统性和灵活性等特点。与第2版相比,本书主要在以下几个方面做了改动。

(1) 基于第2版教材几年来的应用实践,对全书内容进行了进一步的优化。例如,在第3章中适当删减了作者认为略显冗繁的内容;在第5章中删除了应用较少的系统可编程模拟器件及软件开发内容;另外,考虑到原第7章是以Protel绘图软件为基础展开介绍的,目前该软件已经升级为Altium Designer,而介绍该软件使用方法的书籍比较多,网上也有相应的电子教程,查询起来也较为方便,故本次再版将该章删除。

(2) 为了适应电子技术的发展,本书就电子设计平台和内容进行了更新修改。例如,在第5章中增加了SOPC系统设计内容,更新充实了应用实例,使教材更具有先进性和实用性。

(3) 对第2版教材薄弱部分进行了完善和补充。如第6章单片机应用系统设计中增加了案例设计一节,习题部分增加了基于单片机的工程案例参考设计题目,使本书内容更加实用、好用。

本书由李金平教授主编,沈明山、姜余祥副教授参编。第1、2、4、7章由李金平编写,第3、5章由沈明山编写,第6章由姜余祥编写。全书由李金平负责文字润饰和统稿,沈明山、姜余祥负责本书的校阅工作。

为使读者易于掌握相关知识,常用器件的主要参数和基于单片机的波形发生器请登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

本书编写过程中,得到了北京联合大学信息学院有关专家、教授的支持与帮助,在此表示深深的谢意!也感谢电子工业出版社凌毅编辑及其他工作人员对本书编写、出版的帮助与支持,更感谢所有关心和采用本教材的教师与读者的支持与厚爱。

由于作者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2017年5月

目 录

第 1 章 电子系统设计基础知识	1
1.1 电子系统的设计方法	1
1.1.1 明确系统的设计任务和要求	1
1.1.2 方案的比较与选择	1
1.1.3 单元电路的设计、参数计算和 元器件选择	1
1.1.4 电路的仿真	2
1.1.5 电路图的绘制及印制电路板 设计	2
1.2 电子系统的组装与调试	3
1.2.1 电子系统的组装	3
1.2.2 电子系统的调试	4
1.3 电子系统的抗干扰技术	5
1.3.1 在干扰源处采取措施	6
1.3.2 在耦合通道上采取措施	6
1.3.3 在传输通道上采取措施	8
思考题与习题	8
第 2 章 常用电子元器件	9
2.1 电阻器	9
2.1.1 电阻器的作用	9
2.1.2 电阻器的分类	9
2.1.3 电阻器的主要技术指标	9
2.1.4 电阻器的合理选用与 质量判别	10
2.2 电位器	12
2.2.1 电位器的作用	12
2.2.2 电位器的分类	12
2.2.3 电位器的主要技术指标	12
2.2.4 几种常用的电位器	13
2.2.5 电位器的合理选用与 质量判别	13
2.3 电容器	14
2.3.1 电容器的作用	14
2.3.2 电容器的分类	14
2.3.3 电容器的主要技术参数	15
2.3.4 几种常用的电容器	15
2.3.5 电容器的合理选用与 质量判别	16
2.4 电感器和变压器	19
2.4.1 电感器	19
2.4.2 变压器	20
2.5 继电器	21
2.5.1 继电器的作用	21
2.5.2 继电器的分类	21
2.5.3 电磁式继电器的主要参数	22
2.5.4 电磁式继电器的合理选用与 质量判别	22
2.6 半导体器件	23
2.6.1 晶体二极管	23
2.6.2 晶体三极管	29
2.6.3 场效应管(FET)	32
2.6.4 晶闸管	34
2.7 常用集成电路器件	39
2.7.1 集成电路的分类	39
2.7.2 集成电路的主要参数	40
2.7.3 常用集成电路简介	40
2.7.4 集成电路的选用原则及 注意事项	43
2.8 传感器	46
2.8.1 温敏传感器	46
2.8.2 光电传感器	49
2.8.3 气敏传感器	52
2.8.4 湿敏传感器	54
2.8.5 磁敏传感器	56
2.8.6 力敏传感器	58
2.8.7 传感器的选用	59
思考题与习题	60
第 3 章 电子电路的仿真	61
3.1 电子电路计算机仿真技术概述	61
3.2 Multisim 简介	62
3.2.1 设计主界面的进入及 主界面的介绍	62

3.2.2	Multisim 主菜单简介	64	4.7.2	光控电路及其设计	163
3.2.3	Multisim 元件数据库介绍	65	4.7.3	遥控电路及其设计	163
3.2.4	Multisim 中建立电路并 仿真电路	67		思考题与习题	178
3.3	Multisim 的应用实例	72	第 5 章	系统可编程技术	179
3.3.1	电子元器件的性能测试	73	5.1	可编程器件的基本原理	179
3.3.2	滤波电路分析	75	5.1.1	可编程逻辑器件基本原理	179
3.3.3	模拟电路的设计与分析	76	5.1.2	可编程逻辑器件编程工艺	180
3.3.4	数字电路的设计与分析	77	5.2	高密度在系统可编程逻辑器件	180
	思考题与习题	80	5.2.1	复杂可编程逻辑器件 CPLD	181
第 4 章	电子系统中的常用单元 电路设计	81	5.2.2	现场可编程门阵列器件 FPGA	181
4.1	稳压电源电路的设计	81	5.2.3	CPLD 器件和 FPGA 器件的编程、 适配与边界扫描测试技术	184
4.1.1	稳压电源的主要技术指标及 组成	81	5.3	可编程逻辑器件开发软件及应用	184
4.1.2	整流、滤波电路及其设计	82	5.3.1	Quartus II 软件安装工作简介	185
4.1.3	直流稳压电路及其设计	85	5.3.2	Quartus II 软件的主界面	186
4.2	信号发生电路的设计	94	5.3.3	文本输入设计法	186
4.2.1	信号发生电路的主要 性能要求	95	5.3.4	原理图输入设计法	204
4.2.2	信号发生电路的一般 设计方法	95	5.3.5	Quartus II 的层次化设计	207
4.2.3	正弦波振荡电路的设计	96	5.3.6	VHDL 设计	213
4.2.4	RC 方波振荡电路的设计	100	5.4	数字系统开发实例	233
4.2.5	函数发生器的设计	105	5.4.1	ASM 图与交通灯 控制器设计	233
4.3	信号选择电路的设计	108	5.4.2	出租车计程计价表	238
4.3.1	多路信号选择电路	108	5.5	SOPC 系统设计实例	242
4.3.2	有源滤波电路的设计	109	5.5.1	SOPC 系统硬件设计	243
4.4	信号调理单元电路的设计	115	5.5.2	SOPC 系统软件开发	251
4.4.1	小信号放大电路	116	5.5.3	SOPC_Nios II CPU 工程小结	256
4.4.2	频率变换电路设计	122		思考题与习题	258
4.4.3	信号整形电路设计	125	第 6 章	单片机应用系统设计	259
4.5	A/D、D/A 接口电路的设计	128	6.1	最小应用系统设计	260
4.5.1	A/D 接口电路设计	129	6.1.1	MCS-51 系列单片机结构	260
4.5.2	D/A 接口电路设计	141	6.1.2	AT89C52 单片机指令集	265
4.6	驱动电路的设计	153	6.1.3	AT89C52 单片机最小 应用系统	270
4.6.1	常用驱动器的选择及 其典型应用	153	6.2	单片机系统扩展	271
4.6.2	常用光电耦合器的选择及 其驱动电路	155	6.2.1	数据存储器	271
4.7	控制单元电路的设计	158	6.2.2	I/O 接口扩展	277
4.7.1	声控电路及其设计	158	6.3	单片机接口电路设计	283
			6.3.1	键盘接口电路	283
			6.3.2	显示接口	289

6.3.3	打印接口	302	7.2.8	车距报警器	348
6.3.4	通信接口	306	7.2.9	气体烟雾报警器	349
6.4	基于单片机的波形发生器 设计及实现	318	7.2.10	汽车无线报警器	349
6.4.1	基于单片机的波形发生器 设计任务要求	318	7.2.11	电子体温计	350
6.4.2	基于单片机的波形发生器 设计过程	320	7.2.12	开关电源电磁干扰滤波器	350
	思考题与习题	324	7.2.13	抗混叠低通滤波器	351
第 7 章 实用电子系统设计举例及			7.2.14	阶梯波发生器	351
	课题	326	7.2.15	自行车时速表	352
7.1	电子系统综合设计实例	326	7.2.16	电阻精度筛选仪	352
7.1.1	数控直流电源的设计	326	7.2.17	信号波形发生器	353
7.1.2	波形发生器的设计	330	7.2.18	OCL 低频功率放大器	353
7.1.3	简易逻辑分析仪的设计	334	7.2.19	洗衣机控制电路	353
7.1.4	简易数字存储示波器设计	341	7.2.20	无线红外耳机	354
7.2	电子技术课程设计课题	345	7.2.21	无线遥控电控锁	354
7.2.1	CDMA 设备用 AC/DC 开关稳压电源	345	7.2.22	线路寻迹器	355
7.2.2	多路输出的直流稳压电源	345	7.2.23	8 路抢答器	356
7.2.3	小功率线性直流稳压电源	346	7.3	电子系统综合设计课题	356
7.2.4	开关型直流稳压电源	346	7.3.1	有关电源的课题	356
7.2.5	简易开关式充电器	347	7.3.2	有关信号源的课题	362
7.2.6	镍镉电池快速充电器	347	7.3.3	有关放大器的课题	366
7.2.7	车用镍镉电池充电器	348	7.3.4	有关电参量测量和电子 仪器的课题	375
			7.3.5	有关数据采集的课题	385
			7.3.6	有关检测和自动控制的课题	389
			7.3.7	有关无线电的课题	397

第1章 电子系统设计基础知识

随着科学技术的发展和电子技术应用范围的日益广泛,电子系统正朝着集成度高、功能强大、智能化程度高的方向发展。要完成电子系统设计,应该抓好以下几个环节:系统任务分析、系统方案选择、电子电路设计、组装调试和资料提交。本章将首先介绍电子系统设计的相关基础知识,为设计电子系统提供一个总体的思路。

1.1 电子系统的设计方法

设计一个电子系统时,首先必须明确系统的设计任务和要求,并据此进行系统方案的比较、选择,然后对方案中的各部分进行单元电路的设计、参数计算和元器件的选择,再利用 EDA 技术对设计的单元电路进行仿真,最后将各单元电路进行链接,画出一个符合设计要求的完整的系统电路图。

1.1.1 明确系统的设计任务和要求

设计者要对系统的设计任务及工作环境进行深入具体的分析,充分了解系统的性能、指标、内容及要求,以便明确系统应完成的任务及设计过程中必须注意的一些问题。

1.1.2 方案的比较与选择

在充分了解系统工作环境和任务的基础上,实现任务分解,即把系统要完成的任务分配给若干单元电路,并画出能表示各单元功能的系统原理框图。应该指出,即使是实现同一任务,其实现方案也并不是唯一的,设计者可设计多种方案以供比较。

方案选择的重要任务是基于掌握的知识、资料和经验,针对系统提出的任务、要求和条件完成系统的功能设计。在这个过程中,设计者要解放思想,敢于探索,勇于创新,争取方案设计合理、可靠,功能齐全,技术先进,性价比高。在对系统方案不断进行可行性和优缺点分析的基础上,最终确立系统方案,设计出完整的系统框图。

1.1.3 单元电路的设计、参数计算和元器件选择

根据系统指标和功能框图,明确各单元电路的任务,进行单元电路的设计、参数计算和元器件选择。

1. 单元电路的设计

单元电路是电子系统的一部分,因此,单元电路的设计水平将直接影响电子系统的设计水平。

设计单元电路前,必须明确本单元电路的任务,详细拟订出单元电路的性能指标,与前后级的关系,分析电路的形式。具体设计时,可参考成熟的先进电路,也可在其基础上进行改进或创新,但前提是必须保证单元电路性能、指标的要求。在这个过程中,仅仅单元电路本身设计合理是远远不够的,还必须考虑相邻单元电路之间的配合,注意各部分的输入信号、输出信号和控制信号的关系。

2. 参数计算

为了保证单元电路达到功能指标的要求,需要用电子技术知识对参数进行计算,如放大电路的增益;振荡器中电阻、电容、振荡频率等参数。设计者只有很好地理解电路的工作原理,正确地利用计算公式,计算的参数才能满足设计要求。需要指出的是,参数计算时,同一个电路可能有多组数据,要注意选择一组既能满足电路的设计要求、在实际中又真正可行的参数。

计算电路参数时应注意以下几个问题:

- ① 元器件的工作电流、电压、频率和功耗等参数应能满足电路指标的要求;
- ② 元器件的极限参数必须留有足够的裕量,一般应大于额定值的 1.5 倍;
- ③ 电阻器、电容器的参数应选择计算值附近的标称值。

3. 元器件选择

(1) 电阻、电容的选择: 在设计中, 电阻、电容的选择往往不被重视, 实际上, 电阻和电容的种类很多, 正确地选择电阻和电容是非常重要的。不同的电路对电阻、电容性能的要求也不相同, 有些电路对电容的漏电要求很高, 有些电路对电容的容量或耐压要求很高, 如滤波电路中常用大容量 ($100\sim 3000\mu\text{F}$) 铝电解电容, 为了滤掉高频, 通常还需要并联小容量 ($0.01\sim 0.1\mu\text{F}$) 瓷片电容, 而精密仪器中通常采用漏电很小的钽电解电容。设计时, 要根据电路要求选择性能和参数合适的电阻、电容元件, 并注意精度、功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。

(2) 半导体分立元件的选择: 半导体分立元件包括二极管、晶体三极管、场效应管、光电二极管、光电三极管、晶闸管等。可根据其用途分别进行选择。

选择的器件种类不同, 注意事项也不同。例如, 选择三极管时, 首先注意是 PNP 型管还是 NPN 型管, 是低频管还是高频管, 是大功率管还是小功率管, 并注意管子的参数 P_{CM} , $U_{(\text{BR})\text{CEO}}$, $U_{(\text{BR})\text{EBO}}$, β , f_{T} 和 f_{β} 是否满足电路设计指标要求, 高频工作时要求 $f_{\text{T}}=(5\sim 10)f$, 其中 f 为工作频率。

(3) 集成电路的选择: 由于集成电路可以实现很多单元电路甚至整个系统功能, 所以选用集成电路不仅使系统的体积大大缩小, 而且性能可靠, 便于调试和安装, 所以, 设计系统时集成电路应成为首选器件。

集成电路分为模拟集成电路和数字集成电路。器件的型号、功能、电特性可从有关手册查得。

选择集成电路不仅要在功能和特性上实现设计方案, 而且要满足功耗、电压、速度、价格等多方面的要求。

1.1.4 电路的仿真

利用 EDA 软件对所设计的电子系统进行仿真分析, 不但能克服实验室在元器件品种、规格和数量上不足的限制, 还能避免原材料的消耗和使用中仪器损坏等不利因素, 因此, 电路仿真已成为现代电子系统设计的必要方法和手段。

前面谈到了电子系统的方案选择、电路设计, 以及参数计算和元器件选择, 但方案选择是否合理, 电路设计是否正确, 元器件选择是否经济, 这些问题还有待于研究。运用 EDA 软件对设计的单元电路进行实物模拟和调试, 以分析检查所设计的电路是否达到设计要求的技术指标, 如果检查结果不理想, 可通过改变电路中元器件的参数, 使整个单元电路的性能达到最佳。最后将仿真通过的单元电路进行连接后, 再一次对系统进行仿真, 直至得到一个最佳方案。

1.1.5 电路图的绘制及印制电路板的设计

电子系统的电原理图和印制电路板 (PCB) 图是设计者提供的重要文档。设计文档要求电路布局合理、排列均匀、图面清晰。这依赖于计算机绘图软件。

1. 电路图的绘制

目前应用比较广泛的绘图软件包是 Protel 及其升级版 Altium Designer。这两种软件具有很强的在线库编辑以及完善的库管理功能, 提供近两万个元件库及建库功能, 具备强大的设计检验功能, 能自动地指出各种物理/逻辑冲突, 还支持 OrCAD 绘图文件。有关 Protel 软件包及其升级版 Altium Designer 的使用可参阅相关文献。这里只介绍一下绘制电路图时应注意的几个问题。

(1) 布局合理、排列均匀、图面清晰、有利于对图的理解和阅读: 为了强调并便于看清各单元

电路的功能关系,每个功能单元电路的元件应集中布置在一起,并尽可能按工作顺序排列。若电路系统比较复杂,需绘几张图时,要把主电路画在同一张图纸上,而把一些比较独立或次要的部分画在另外的图纸上,并在图的断口端做上标记,说明各图纸在电路连线之间的关系。

(2) 注意信号的流向。一般从输入端或信号源画起,按信号流向从左至右或从上至下依次画出各单元电路,而反馈通路的信号流向则与此相反。

(3) 图形符号要标准,图中应加适当的标注。电路图的中大规模集成电路器件一般用方框表示,在方框中要标出型号,在方框边线外侧标出引脚号和引脚的功能名称。其余元器件符号要标准化,并注明该器件的序号和数值等。

(4) 连线应尽可能为直线,相互连通的交叉线,应在交叉处用圆点表示。根据需要,可在连线上加信号名或有说明意义的标号,有的连线可用符号表示,如器件的电源一般标电源电压的数值,地线用符号“ $\perp$ ”表示。

(5) 必须运用设计检验 ERC (电气规则检查) 对设计的原理图进行检查,以防止各种物理/逻辑冲突。

2. PCB 的设计

借助基于 Windows 平台的 Protel 或 Altium Designer 绘图软件,不仅可以使底图更整洁、标准,而且很好地解决了手工布线印制导线不能过细和较窄间隙不易布线等问题,同时也彻底解决了双面板和多层板布线的问题。实现了 PCB 板面和布线的优化,并通过在线式 DRC (设计规则检查) 自动指出违反设计规则的错误。

1.2 电子系统的组装与调试

一个性能优良、可靠性高的电子系统,除了先进合理的设计之外,高质量的组装与调试也是非常关键的环节,这里简要地介绍电子系统的组装与调试方法。

1.2.1 电子系统的组装

1. 电路板焊接技术

焊接质量取决于焊接工具、焊料、焊剂和焊接技术 4 个条件。

(1) 焊接工具:电烙铁是焊接的主要工具,直接影响焊接质量。要根据不同的焊接对象选用不同功率的电烙铁。功率过小,焊锡丝不能充分融化,焊接不牢。功率过大,有可能焊脱电路板铜箔,损坏电路板。焊接普通电阻、电容和集成电路一般可选用 18~25W 的电烙铁,元器件引脚较粗或焊接面积较大时可选用 45W 或更大的电烙铁。焊接 CMOS 电路一般选用 20W 内热式电烙铁,而且外壳要良好接地。若用外热式电烙铁,最好采用烙铁断电,用余热焊接。

(2) 焊料:常用的焊料是焊锡丝。市场上出售的焊锡丝有两种:一种是无松香的焊锡丝,焊接时需加助焊剂;另一种是松香焊锡丝,这种焊锡丝无须另加助焊剂即可使用,焊锡丝的粗细要选择合适的,焊电路板一般选取直径为 0.2~1.2mm 的焊锡丝。

(3) 助焊剂:目前市场上出售的电子元器件,引脚大都经过镀银处理,加上电路板焊盘涂有助焊剂,这种情况下可不用助焊剂,但有的元器件引脚未经镀银处理,长久放置引脚被氧化,焊接时必须使用助焊剂。通常使用的助焊剂有松香、松香酒精溶液及焊锡膏,后者比前者焊接效果好,但腐蚀性较大,时间久了甚至会造成断路。

(4) 焊接技术:首先要求焊接牢固、无虚焊,其次是焊点的大小、形状和表面粗糙度等。焊接前,要确认是否需要焊件的表面净化,并作出相应的处理,如用酒精擦洗或刀片刮等。焊接过程如下:把烙铁头放在焊接处,待焊件温度达到焊锡融化温度时,使焊锡丝接触焊件,当适量的焊锡丝融化后,立即移开焊锡丝,再移开烙铁,整个过程不宜过长(一般为 2~3s),以免焊脱电路板铜箔。

2. 电路系统组装技术

- ① 元器件安装要遵从“先低后高”原则，即先焊接低的元器件，再焊接高的元器件。
- ② 元器件安装要遵从“先内后外”原则，即先焊接里面的元器件，再焊接外面的元器件。
- ③ 元器件焊接前要做“完好性”和“正确性”检查，确保焊接前的元器件品质和参数是合格的，特别是当使用旧元器件时，这一点尤为重要。
- ④ 组装电子系统要求高度认真和细心，任何马虎都会给后续的调试工作留下后患，严重的甚至会危及系统的指标。

1.2.2 电子系统的调试

通常调试方法有以下两种。

一种方法是采用边安装边调试的方法。也就是把电子系统按原理框图上的功能分块进行安装调试，在完成功能模块调试的基础上逐步扩大安装和调试范围，最后完成整个系统的调试。对于新设计的电路，一般使用这种方法，以便及时发现问题和解决问题。

另一种方法是整个电路安装完毕，实行一次性调试。这种方法适合于定型产品或需要配合才能运行的产品。如果电子系统中包括模拟电路、数字电路和单片机系统，一般不允许直接连接。不但它们的输出电压和波形不同，而且对输入信号的要求也各不相同。如果盲目连接在一起，可能会使电路出现不应有的故障，甚至造成元器件大量损坏。因此一般情况下，把这三部分分开，按设计指标对各部分分别调试，再经过信号电平转换电路实现系统统调。调试过程中，应注意做好调试记录，准确记录电路各部分的测试数据和波形，以便于分析和运行时参考。

调试步骤如下所述。

1. 通电前检查

电路安装完毕，不要急于插芯片，首先直观检查电路各部分接线是否正确，检查电源、地线、信号线、元器件引脚之间有无短路，器件有无接错，用万用表欧姆挡测量电源到地之间的电阻（一般应大于数百欧），确认电源到地无短路后，再插入芯片，务必注意芯片插接方向。

2. 通电检查

确认电源电压是否符合要求，然后关断电源，将电源接入电子系统后再打开电源开关，观察各部分器件有无异常现象，包括有无冒烟、异味等，如果出现异常现象，要立即关断电源，待排除故障后方可重新加电。

3. 分模块调试

调试功能模块时应明确本模块的调试要求，按调试要求测试性能指标和观察波形。

模块调试包括静态调试和动态调试。静态调试一般是指没有输入信号条件下测试电路各点的电位，譬如模拟电路的静态工作点，数字电路各输入端、输出端的高、低电平值及逻辑关系等。通过静态测试可及时发现已损坏或处于临界状态的元器件。动态调试时，既可以利用前级的输出信号作为本模块的输入信号，也可以利用自身的信号检查功能模块的各项技术指标是否满足设计要求，包括信号幅值、波形、相位关系、频率、频响特性及增益等。对于信号产生电路，一般只看动态指标。把静态、动态测试结果与设计指标相比较，经深入分析后对电路参数提出合理的修正。

4. 系统联调

系统联调时应观察各功能模块连接后各级之间的信号关系，系统联调只需观察动态结果，检查系统的性能参数，分析测量的数据和波形是否符合设计要求，对发现的故障和问题及时采取相应的处理措施。

排除故障的方法有很多，常用的排除电路故障的方法有以下几种：

- (1) 信号跟踪法：寻找电路故障时，可按信号的流向逐级进行。在电路的输入端加入适当的信

号,用电压表或示波器等仪器逐级检查信号在电路中的传输情况,根据电路的工作原理分析电路功能是否正常,如发现问题,要及时处理。

(2) **对分法**:为了加快查找故障的速度,减少调试时间,常采用对分法。这种方法是把有故障的电路系统对分成两部分,先找出故障出在哪个部分,然后再对有故障的部分对分检测,如此重复下去,直到找出故障点为止。

(3) **电容器旁路法**:当遇到电路发生自激或寄生干扰等故障时,检测时可用一只容量较大的电容器并联到故障电路的输入端或输出端,观察对故障现象的影响,据此分析故障点。在放大电路中,旁路电容失效或开路,将使负反馈增强,增益降低,此时用适当的电容并联在旁路电容两端,如果输出幅度恢复正常,即可断定是该旁路电容的问题。这种方法常用来检查电源滤波和去耦电路的故障。

(4) **开环测试法**:对于一些有反馈的环形电路,如振荡器、稳压器等电路,它们各级的工作情况相互牵连,这时可采用开环测试法,将反馈环断开,然后逐级进行检查,可更快地查出故障点。对不需要的自激振荡现象,也可以采用这种方法。

(5) **对比法**:将有问题的电路状态、参数与相同的正常电路进行逐项对比。这种方法可以较快地从异常参数中分析出故障。

(6) **替代法**:把已调试好的单元电路代替有故障或有疑问的相同单元电路,这样可以很快地判断出故障部位。再用相同规格的优质元件逐一替代故障部位的元件,就可很快地判断出故障点。这种方法可以加快故障的查找速度,提高调试效率。

(7) **静态、动态测试法**:要查找故障点,最常用的方法就是用静态、动态测试法。静态测试法是在电路不加信号的情况下,用万用表测试电阻值、电容是否漏电、电路是否有断路或短路现象、晶体管或集成电路各引脚电压是否正常等,通常通过静态测试,可发现元器件的故障。当静态测试不能奏效时,可采用动态测试法。动态测试是在电路输入端加上适当信号再测试元器件的情况,通过观察电路的工作状态,分析、判断故障原因。

5. 注意事项

① 调试前要正确地选择仪表,熟悉所选仪表的使用方法,并仔细检查仪表的状态。以避免由于仪表选用不当或出现故障而作出错误的判断。

② 测量仪表的地线应与被测电路的地线连在一起,只有使仪表和电路之间建立一个公共的参考点,测量结果才可能是正确的。

③ 调试过程中,发现器件或接线有问题需要更换或修改时,务必先关闭电源,待更换或修改完毕并确认无误后,方可重新加电。

④ 调试过程中,在认真观察和测量的同时,要做好调试记录,包括记录观察的现象、测量的数据及实测结果与设计不符的现象等。设计者可依据记录的数据把实际观察的现象和理论预计结果加以定量比较,从中发现设计和安装上的问题,以进一步完善设计方案。

电子系统的调试是一项关键性的工作,调试人员要做好这项工作,一是熟悉使用仪器;二是要采用正确的系统测试方法;三是要有严谨的科学作风,再有一点也是最重要的一点,就是不断地总结调试经验,提高调试水平。

1.3 电子系统的抗干扰技术

电子系统的抗干扰技术是电磁环境兼容性 (Electro Magnetic Compatibility, EMC) 的一个重要组成部分。对于 EMC,国外的文献曾给了通俗的说明:“这种技术的目的在于,使一个电气装置或系统既不受周围电磁环境的影响,又不给环境以这种影响。它不会因电磁环境导致性能变差或

产生误动作，而完全可以按原设计的能力可靠工作”。可见，EMC 技术对电气装置和系统，特别是对电子系统的可靠性至关重要。因此，研究电子系统的抗干扰技术，是电子系统设计的重要内容之一。

在分析干扰时，要弄清形成干扰的三要素，即干扰源、被干扰的接收电路及耦合通道。电子系统常见的干扰有电源干扰、电磁场干扰和通道干扰等。

电磁兼容的解决措施一般使用在耦合通道的末端或中间，用来消除或者减弱干扰源的辐射或系统对噪声的灵敏度。究竟将抑制干扰的措施加在干扰源、受干扰电路还是耦合通道上，主要取决于工程技术上的限制和成本。

1.3.1 在干扰源处采取措施

考虑到一个单独的干扰源可能会影响多台邻近的许多设备，所以，一般情况下，都把抑制干扰设备加到干扰源或靠近干扰源的位置，这种方法对于固定的或可控的噪声源来说，是很有效的。在可能的情况下，这应该是电子系统设计人员的首选方法。

按上述原则，首要条件是找到干扰源，其次分析有否抑制噪声的可能性和采取相应的措施。

寻找干扰源有一个原则，就是电流和电压发生突变的地方就是电子系统的干扰源。一般说来，电流变化大或大电流工作场合，是产生电感性耦合噪声的主要根源；电压变化大或大电压工作场合，是产生电容性耦合噪声的主要根源。公共阻抗耦合的噪声也是由于变化剧烈的电流在公共阻抗上所产生的压降造成的。

下面通过一个典型实例来说明干扰源和抗干扰措施。

应用大规模数字集成电路时，其开关工作电流的变化是很大的，很容易形成噪声电流。例如，MK4096 型动态 RAM 工作时 有 80mA 左右的冲击电流，若 16 片电路一起工作时，冲击电流可达 1.28A。而这个冲击电流的变化时间仅仅 15ns。按 $\frac{di}{dt}$ 计，其突变是很陡峭的。像这种电流变化，稳压电源是很难稳定调节的。对于集成电路开关工作时产生的噪声电流，可以在集成电路附近加接旁路电容将其抑制。根据经验，通常每 5 块集成电路旁接一个 0.05 μ F 左右的陶瓷电容；每一块大规模集成电路也最好接一个 0.01 μ F 的陶瓷电容。另外，在印制电路板 (PCB) 的电源输入处也并接一个 100 μ F 的电解电容和一个 0.05 μ F 左右的陶瓷电容。

实际中，有时开发的电子系统必须工作在噪声环境中，而这些噪声源 (如无线电台、静电放电、闪电等) 又是不可控的，在这种情况下，就要将抑制干扰的措施用在接收端或耦合通道上。

1.3.2 在耦合通道上采取措施

噪声传播通道大致有：导线传导的耦合噪声，经公共阻抗的耦合噪声和电磁场的耦合噪声。其中，电磁场的耦合噪声按距离辐射源远近又分为：近场感应噪声和远场辐射噪声。在近场感应噪声中又进而分为电容性耦合噪声和电感性耦合噪声。电容性耦合噪声主要是由电力线通过相互间电容耦合的；电感性耦合噪声主要是由磁力线通过相互间电感耦合的；而远场辐射噪声则是以电磁波方式耦合的。

为了将噪声抑制在耦合通道中，设计者应根据耦合特点，采用相应的手段切断噪声耦合通道或削弱噪声影响，以达到抑制噪声的目的。

1. 抑制导线传导耦合噪声的措施

抑制由导线传导的噪声，最常用的方法是串接滤波器。设计者可根据实际需求选取并设计滤波器。一般说来，噪声频率远高于有用信号频率时，常采用图 1.3.1(a)所示的 LC 低通滤波器，它结构简单，滤波效果也较好。除此之外，利用图 1.3.1(b)所示的 RC 积分电路，也可有效地滤除传

导噪声。当利用这种积分电路滤除高频噪声时，要使 RC 时间常数大于噪声周期，小于信号周期。在直流电源线上经常使用 RC 积分电路，滤除各级电路之间由电源线造成的耦合噪声。



图 1.3.1 抑制传导噪声的滤波电路

2. 抑制公共阻抗耦合噪声的措施

公共阻抗耦合是指干扰源和被干扰电路之间存在着一个公共阻抗 (通常是电源总线、公共接地等)，噪声电流通过这种公共阻抗产生噪声电压，传导给被干扰电路。下面通过实例说明公共阻抗耦合造成的影响。图 1.3.2 是接地线形成公共阻抗的典型例子。图中三个回路以串联方式接地，阻抗 Z_1 成为回路 1，回路 2 和回路 3 的公共阻抗，阻抗 Z_2 成为回路 2 和回路 3 的公共阻抗。这样任何一个回路的地线上有电流都会影响其他电路。也就是说，每个回路的接地点 A，B，C 都不是真正的零电位，而是随各回路的电流变化而变化。显然，电流变化越大，在公共阻抗上产生的噪声电压也越大。

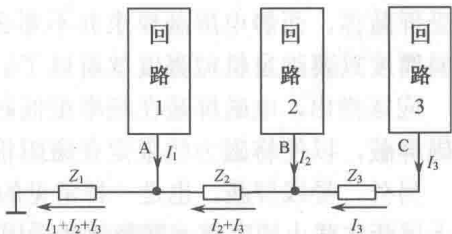


图 1.3.2 串联方式接地形成公共阻抗耦合

消除公共阻抗耦合的方法主要有两种：一种方法是采取一点接地，另一种方法是尽可能降低公共阻抗。

一点接地法就是把各回路的接地线集中于一点接地。例如，对图 1.3.2 相应可采取图 1.3.3 所示接法。由于这种接法不存在公共阻抗，所以回路 2 和回路 3 的电流变化不会影响回路 1。在小信号模拟电路、数字电路和大功率驱动电路混合的场合，应像图 1.3.4 所示，将大信号功率电路地线、模拟电路地线、数字电路地线分开。机内布线完全是三个系统，只有在电源供电处才一点汇接。这样既保证系统有统一的地电位，又避免地线形成公共阻抗。

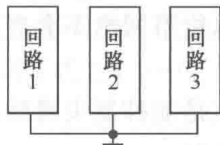


图 1.3.3 几个回路一点接地

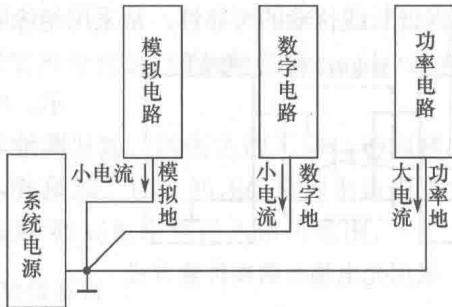


图 1.3.4 模拟地线、数字地线、功率电路地线分开接地

上述公共阻抗，除了电阻以外，还包括容抗和感抗。对于常用的电线、印制板上的印制线，从噪声或从高频的角度看，与其说是电阻，倒不如认为是电感。因为高频时导线的等效电路是由电阻和电感串联而成的，频率越高，感抗成分占整个阻抗的比例越大。因此，在布线和设计印制电路板时要尽量降低作为公共阻抗的导线和印制线所含的电感量。例如，对于地线，有条件的可采用电感量很小的导线；印制电路板的地线要尽可能做短做粗，必要时可用大面积的铜箔作为地线来降低其阻抗等。

3. 抑制电容性耦合噪声的措施

电容性耦合噪声也称为静电耦合噪声或静电感应噪声。它是由于电力线的作用，从一个方向

向另一个方向传送静电变化而形成的。理论分析指出, 电容性耦合噪声的大小与噪声频率成正比, 与受感应体的对地电阻成正比, 与两导体间的分布电容量成正比, 还与噪声源的噪声电压成正比。所以, 要抑制这种方式的噪声传播, 应从这几个方面想办法。

显然, 抑制电容性耦合噪声的最基本方法就是减小与噪声源的分布电容。最直接做法就是拉大两根导线的距离, 使分布电容减小, 以减弱耦合噪声。在工程上这种方法往往受到条件的限制, 所以通常采用静电屏蔽的方法。所谓静电屏蔽, 实际上就是将带电体发出的电力线尽可能多地屏蔽掉。电力线一少, 导体间的电容量就很小, 通过电容性耦合的噪声自然也就很小。应该说, 静电屏蔽是切断电容性耦合的一种十分有效的方法。静电屏蔽有多种形式, 可以用屏蔽罩, 也可以用屏蔽板, 还可以用屏蔽线等。

4. 抑制电感性耦合噪声的措施

电感性耦合噪声也称为电磁耦合噪声或电磁感应噪声, 是两根导线通过磁力线耦合形成的。减少电感性耦合噪声的有效方法是采用电磁屏蔽。电磁屏蔽主要是利用在低电阻的金属屏蔽材料内流过的电流来防止频率较高的磁通干扰。与静电屏蔽的区别在于, 电磁屏蔽必须没有缝隙地包围受屏蔽体, 而静电屏蔽要求并不那么严格; 电磁屏蔽所用的金属材料只要求导电性能好, 至于材料厚度只要满足机械强度就可以了。

应该指出, 电磁屏蔽在频率很低时并不十分有效, 这时要用高磁导率材料 (如坡莫合金等) 进行磁屏蔽, 以便将磁力线限定在磁阻很小的磁屏蔽导体内部, 防止扩散到外部。

另外, 导线屏蔽, 也是一种常见的电磁屏蔽。运用时, 要十分注意屏蔽体的接地方法。当频率低于屏蔽体截止频率时, 屏蔽体要采用一端接地的方法, 这种接法避免了因两端接地产生的电位差所造成的流经屏蔽体电流, 这种电流将严重影响屏蔽效果; 而在高频 (高于1MHz) 时, 屏蔽体要采用两端接地的方法, 因这时趋肤效应使噪声电流在屏蔽体的外表流动, 信号电流在屏蔽体的内层流动, 能减少噪声对信号的耦合。屏蔽体要良好接地。只有这样, 才能取得最佳的屏蔽效果。

1.3.3 在传输通道上采取措施

在电子信号的长线传输过程中, 由于发送端和接收端之间存在接地的电位差, 所以会产生共模噪声干扰。为了保证长线传输的可靠性, 常采用绝缘隔离的传输方式, 如光电耦合隔离等措施。

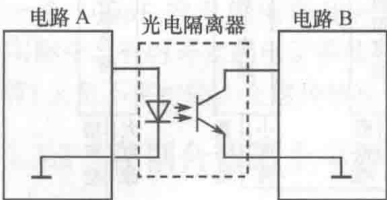


图 1.3.5 采用光电耦合隔离传输方式

采用光电耦合隔离传输方式的原理图如图 1.3.5 所示。电路 A 和电路 B 之间采用光电耦合, 可以有效地切断地环路电流的干扰, 使两个电路的地电位完全隔离, 这样, 即使两个电路的地电位不同也不会产生共模噪声干扰。

光电耦合器的主要优点是能抑制尖峰脉冲及各种噪声干扰, 有很强的抗干扰能力。

思考题与习题

- 1.1 完成电子系统设计, 应该抓哪几个主要环节?
- 1.2 常用的排除电路故障的方法有哪几种?
- 1.3 电子系统调试时应注意哪些事项?
- 1.4 采用抑制干扰措施时, 考虑的主要因素是什么?

第2章 常用电子元器件

电子元器件是构成电子电路的基础，如计算机、通信设备、家用电器、电子测量仪器，以及其他智能电子系统等，无一不是由电子元器件组成的。因此，熟悉各类元器件的性能、特点及用途，对设计、调试和维修电子电路是非常重要的。本章将对常用的电子元器件的类别、性能及选用原则进行介绍，以便使读者在设计电子系统时能够正确选用。

2.1 电 阻 器

2.1.1 电阻器的作用

在电路中，电阻器主要用来控制电压、电流，即起降压、分压、限流、分流、隔离、匹配和信号幅度调节等作用。

2.1.2 电阻器的分类

电阻器的种类很多，通常可分为固定电阻器、可变电阻器和排电阻器等。

按电阻器用途可分为：普通电阻器、高压电阻器、高频无感电阻器、敏感电阻器、熔断电阻器和精密电阻器等。

按电阻器材料可分为：线绕电阻器和非线绕电阻器。其中，线绕电阻器又分为普通型、被釉型和陶瓷绝缘功率型；非线绕电阻器又分为合成式和薄膜式。

2.1.3 电阻器的主要技术指标

1. 标称阻值

标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值。其基本单位是欧姆(简称欧)，用 Ω 表示。实际中，还常用千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)来表示。

标称阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同，不同精度的电阻器其阻值系列是不同的，根据部标，常用的标称电阻值(E24, E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器)系列列于表 2.1.1 中。此外，精度为 $\pm 1\%$ 的 E96 系列电阻也进入常用范围。

表 2.1.1 标称值系列

标称值系列	精 度	电阻器、电位器和电容器标称值 ^①								
E24	$\pm 5\%$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1	
E12	$\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7			
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2			
E6	$\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8			

注：①标称数值等于表中数值 $\times 10^n$ ， n 为整数。例如，1.2 这个标称值就有 1.2Ω ， 12Ω ， 120Ω ， $1.2k\Omega$ ……

在设计电路时，计算出的阻值要尽量选择标称值系列，这样在市场才能选购到所需要的电阻器。如果标称值系列中找不到实际需要的数值(电路要求比较严格时会有这种情况)，可在相邻的两个标称值之间进行挑选，需要量少时，如果允许，可采用串并联的方法加以解决。

2. 精度

由于工艺条件等诸多方面的限制，电阻器的实际阻值与标称阻值不可能绝对相等，两者之间存在一定的偏差。把两者的相对误差(即两者的偏差除以标称值所得的百分数)称为电阻精度。常用电阻器的精度等级如表 2.1.2 所示。

表 2.1.2 常用电阻器的精度等级

允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%
级 别	005	01	02	I	II	III
类 型	精密型			普通型		

电阻器的精度越高，其稳定性也越好，但相应的价格也越高。所以，在电子系统设计中，要根据电路的不同要求选用不同精度的电阻器，以期获得最佳的性价比。

3. 额定功率

额定功率是指电阻器在交流或直流电路中，在特定条件下(在一定大气压和产品标准所规定的温度下)长期工作时所能承受的最大功率。其基本单位是瓦特(W)。不同类型的电阻器有不同系列的额定功率，具体如表 2.1.3 所示。

表 2.1.3 电阻器的功率等级

名 称	额定功率/W					
实心电阻器	0.25	0.5	1	2	5	
线绕电阻器	0.5	1	2	6	10	15
	25	35	50	75	100	150
薄膜电阻器	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1
	2	5	10	25	50	100

其中，以 0.125W(即 1/8W)，0.25W(即 1/4W)，0.5W(即 1/2W)电阻器较为常用。

为了防止电阻器烧毁，选用电阻器时，应使其功率高于电路实际需求的 1.5~2 倍以上。

4. 温度系数

电阻器的温度系数是指电阻值随温度的变化率，单位是 $\Omega/^{\circ}\text{C}$ 。金属膜、合成膜电阻器具有较小的正温度系数(即随温度升高，阻值增大)，碳素膜电阻器具有较大的负温度系数(即随温度升高，阻值减小)。

5. 非线性

当流过电阻器的电流与加在电阻器两端的电压不成比例变化时，称为非线性电阻器。一般说来，金属型电阻器的线性度很好，非金属型电阻器的线性度较差。

6. 噪声

噪声包括热噪声和电流噪声两种。为了降低热噪声，可降低电阻器的工作温度；电流噪声与电阻器内的微观结构有关，合金型没有电流噪声，薄膜型电流噪声较小，合成型电流噪声较大。

7. 极限电压

电阻器能承受而不会损坏的最高电压称为电阻器的极限电压。当加在电阻器两端的电压超过极限电压时，会发生烧毁现象，使电阻器损坏。一般常用电阻器的功率与极限电压如下：0.25W，250V；0.5W，500V；1~2W，750V。更高电压时，应选用高压型电阻器。

2.1.4 电阻器的合理选用与质量判别

1. 电阻器的合理选用

电阻器的种类很多，性能差异也很大，其应用范围有很大区别。因此全面了解各类电阻器的性能和应用范围，是合理选用电阻器的前提。各类电阻器的性能比较和应用范围如表 2.1.4