



主 编 陈世文
副主编 陆应华 张秀钢

电子设计工程实践

DIANZI SHEJI GONGCHENG SHIJIAN



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电子设计工程实践

主 编	陈世文		
副主编	陆应华	张秀钢	
编 委	李冬海	刘玉平	雷 明
	程保炜	金晓磊	高 杰
	郭仕勇	张光伟	徐志坚

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是作者指导本科生科技创新课题和全国大学生电子设计竞赛培训的工作成果总结,注重内容的实用性和实践性。通过3个典型的电子设计案例的完整实现过程,详细讲解利用单片机、FPGA进行电子系统设计的方法、步骤,给出了2011年解放军信息工程大学获全国大学生电子设计竞赛一等奖作品的设计报告。全书共分5章,内容包括:电子设计工程实践问题、基础知识与基本技能、基于MCS51单片机的温度显示报警器设计、FPGA系统设计与开发实例、基于GPS和GSM的放射源监控系统设计实例。附录为全国大学生电子设计竞赛及作品实例。本书所有设计案例的源代码可以从国防工业出版社网站<http://www.ndip.cn>下载。

本书可以作为电子信息类专业学生进行电子制作、课程设计、毕业设计实践的参考书,也可作为全国大学生电子设计竞赛培训的辅导教材,对毕业求职和电子产品研发人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子设计工程实践 / 陈世文主编. —北京:国防工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-118-08333-0

I. ①电... II. ①陈... III. ①电子电路-电路设计
IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第199195号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张13¼ 字数295千字

2012年9月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价30.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着电子技术的飞速发展,EDA、MCU、FPGA、IP Core、SOPC 等技术及相关开发工具不断发展、融合,为电子系统的设计与工程实践提供了方便;另一方面,电子设计涉及的知识面广、内容多而杂,导致初学者很难建立起系统的概念,由于没有享受到小的设计成果所带来的成就感,导致一部分人中途放弃,从此不敢动手、不愿动手,制约了实践动手能力的提高。因此,我们组织编写了这本《电子设计工程实践》,通过温度显示与报警、卡拉OK 机、放射源监控系统等 3 个典型的电子设计作品案例的成果演示与软硬件完整实现过程的详细讲解,引导初学者体验利用单片机、FPGA 进行电子系统设计带来的乐趣,同时以附录形式给出了 2011 年解放军信息工程大学获全国大学生电子设计竞赛一等奖的部分作品的设计报告,作为指导本科生科技创新课题和全国大学生电子设计竞赛培训的工作成果总结与大家分享。

本书注重内容的实用性和实践性。采用设计案例剖析法,通过典型的电子设计案例的完整实现过程,给出利用单片机、FPGA 进行电子系统设计的方法、流程与具体实现步骤,目的在于帮助初学者建立系统的概念,明确需要具备的基础知识、基本技能,引导初学者去系统学习并掌握相关的开发工具,在确立自己的设计目标后,锻炼进行整体构架设计、规划的能力,并通过具体的软硬件设计、调试过程,提升自己的工程实践能力。

本书是一本综合性强的实例教程,需要读者具备一定的基础,包括模拟电路、数字电路、单片机技术、C 语言程序开发、EDA 技术、硬件描述语言等方面的知识,所涉及的课程知识与工具的具体使用方法由于篇幅所限没有进行具体讲解,只进行了简要介绍,请读者根据自己的需求,参考相关书籍、资料进行掌握。

全书共分 5 章,前 2 章主要探讨现代设计理念、实践能力培养和必需的相关背景知识与技能。后 3 章通过实际案例的方法,讲述单片机的应用系统设计实例、FPGA 系统设计实例,在附录中给出了全国大学生电子设计竞赛设计实例。各章节具体内容如下:

第 1 章讲述现代电子设计理念与工程应用问题,探讨工程实践能力的培养问题。包括:EDA 技术与现代电子设计,工程实践能力的培养,电子设计中的 EMC 与抗干扰、可靠性设计、可测性设计、电子系统的故障诊断与排除等电子设计工程问题,电子工程师培养等内容。

第 2 章讲述工程实践相关的基础知识与基本技能。包括:常见基本单元电路,简要介绍模拟、数字电路仿真工具 EWB、Multisim、单片机仿真工具 Proteus、FPGA 开发工具 QuartusII、ISE、PCB 设计工具 Protel,PCB 热转印方法,介绍信号发生器、示波器、频谱仪、逻辑分析仪等测试仪器的功能与主要技术指标。

第 3 章讲述基于 MCS51 单片机的温度显示报警器设计实例。从硬件设计、源代码开发、编译调试过程、芯片烧写直到作品功能演示、改进美化,详细讲解了一个单片机应用小

系统设计开发的完整过程。给出了设计文件组织结构,SourceInsight 编码方法,主程序、DS18B20 程序、中断程序、按键处理程序、液晶显示程序等详细源代码及其说明。

第4章讲述 FPGA 系统设计与开发实例。首先介绍 EDA 概念, FPGA/CPLD 器件、FPGA 开发工具、开发板等 FPGA 开发基础知识,然后基于 DE2-115 平台,详细讲述了一个基于 FPGA 的音频处理实例。包括系统设计, I²C 控制模块、外围控制模块、顶层文件设计,利用 Modelsim 进行仿真、下载实现的完整过程。

第5章讲述基于 GPS 和 GSM 的放射源监控系统设计实例。包括总体方案设计, GPS 模块、GSM 模块、单片机模块等硬件设计,单片机终端和远程监控 PC 端软件设计,给出了完整的硬件电路图与程序源代码。

附录部分介绍大学生电子设计竞赛及作品实例。包括:电子设计竞赛概况,2011 年全国大学生电子设计竞赛与综合测评题题目,给出了 2011 年解放军信息工程大学获全国大学生电子设计竞赛一等奖的部分作品的完整设计报告,每份设计报告包含系统方案、系统理论分析与计算、电路与程序设计、测试方案与测试结果、参考文献等部分。

本书主要由陈世文、陆应华、张秀钢、李冬海、刘玉平等共同编写完成,其中,陈世文编写第3章,第4章,第5章 5.1 节、5.2 节,并负责全书的统稿工作;陆应华编写第1章和附录 A、附录 B、附录 C 部分,且根据多年从事实验教学和组织指导电子设计竞赛的经验,对全书的构架和内容安排提出了指导意见,并做了大量工作;李冬海编写 5.3.2 小节;刘玉平编写 2.4 节以及 5.3.1 小节;张秀钢、雷明、程保炜、金晓磊、高杰、郭仕勇、张光伟、徐志坚参与部分内容的编写工作,并为本书的编写提供了许多有价值的素材。

在本书的编写过程中,得到了许多人的支持与帮助。首先要感谢王云龙、陈雨林、朱哲勇等同志的帮助,王云龙调试、验证了第4章中的程序并撰写了详细的技术文档,在全书的资料收集、整理上做了大量工作;陈雨林调试编写了第3章中的程序并撰写了详细的技术资料;上海皮赛电子有限公司的朱哲勇总经理赠送了 ETL 系列 FPGA 开发板用于开发调试,并热情地提供技术文档作为参考。张东升、李子玉、盛旭、侯晓宇、刘俊、杨元山、熊垒、王飞、朱宇彬、郑林浩等同学在本书的文档整理、编辑、校对过程中做了大量工作。本书第5章的作品是解放军信息工程大学本科生科技创新项目中编者所指导的学生张东升、张战韬、张俊的课题成果总结,附录部分引用了解放军信息工程大学参加 2011 年全国大学生电子设计竞赛获一等奖部分作品的设计报告,在此也向组织开展该活动并给予大力支持的训练部机关领导、参赛的同学和指导老师们表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,错误和不当之处,恳请同行和读者批评指正,请通过 EDEC_EDA@163.com 联系。需要书中案例源代码的读者也可发 E-mail 要求提供,建议通过国防工业出版社网站 <http://www.ndip.cn> 下载,本书后续的修改完善和勘误表也将在网上给出。

编者
2012 年 5 月

目 录

第 1 章 电子设计工程实践概述	1
1.1 EDA 技术与现代电子设计	1
1.2 工程实践能力的培养	1
1.3 电子设计工程问题	2
1.3.1 电子设计中的 EMC 与抗干扰	2
1.3.2 可靠性设计	3
1.3.3 可测性设计	4
1.3.4 电子系统的故障诊断与排除	4
第 2 章 基础知识与基本技能	6
2.1 常见基本单元电路	6
2.2 开发工具.....	15
2.2.1 模拟、数字电路仿真工具	15
2.2.2 单片机仿真工具.....	16
2.2.3 FPGA 开发工具	17
2.2.4 PCB 设计工具.....	19
2.3 电子工艺技能.....	19
2.4 测试仪器仪表.....	22
2.4.1 信号发生器.....	22
2.4.2 示波器.....	23
2.4.3 频谱仪.....	25
2.4.4 逻辑分析仪.....	26
第 3 章 基于 MCS51 单片机的温度显示报警器设计	29
3.1 硬件设计.....	29
3.1.1 器件选择.....	29
3.1.2 电路原理图设计.....	31
3.2 源代码开发.....	31
3.2.1 文件组织结构.....	31
3.2.2 SourceInsight 编码	32
3.3 详细源代码及其说明.....	36
3.3.1 主程序.....	36
3.3.2 DS18B20 程序	38
3.3.3 中断程序.....	41

3.3.4 按键程序·····	42
3.3.5 液晶显示程序·····	43
3.4 编译调试过程·····	49
3.5 芯片烧录·····	57
3.6 作品功能演示·····	58
3.7 改进美化·····	59
第4章 FPGA 系统设计与开发实例 ·····	65
4.1 EDA 概述·····	65
4.2 FPGA 开发基础·····	65
4.2.1 Altera 的 FPGA/CPLD 器件·····	65
4.2.2 FPGA 开发工具介绍·····	70
4.3 基于 FPGA 的音频处理实例·····	81
4.3.1 系统设计·····	81
4.3.2 I ² C 控制模块·····	82
4.3.3 外围控制模块·····	90
4.3.4 建立顶层文件·····	94
4.3.5 利用 Modelsim 进行仿真·····	97
4.4 系统小结·····	103
第5章 基于 GPS 和 GSM 的放射源监控系统设计实例 ·····	104
5.1 总体方案设计·····	104
5.2 硬件设计·····	105
5.2.1 模块主要特性介绍·····	105
5.2.2 硬件电路实现·····	111
5.3 软件设计·····	111
5.3.1 单片机软件部分·····	111
5.3.2 Windows 端软件设计·····	135
5.4 总结·····	149
附录 大学生电子设计竞赛及作品实例 ·····	151
附录 A 电子设计竞赛概况·····	151
附录 B 2011 年全国大学生电子设计竞赛题目·····	152
附录 C 电子设计优秀作品·····	164
作品 1·····	164
作品 2·····	175
作品 3·····	186
作品 4·····	195
参考文献 ·····	204

第 1 章 电子设计工程实践概述

1.1 EDA 技术与现代电子设计

EDA 技术是在电子 CAD 技术基础上发展起来的,是指以计算机为工作平台,融合了应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果,进行电子产品的自动设计。利用 EDA 工具,电子设计师可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统,大量工作可以通过计算机完成,并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程在计算机上自动处理完成。目前,EDA 技术发展迅速,突出表现在以下几个方面:

- (1) 使电子设计成果以自主知识产权的方式得以明确表达和确认成为可能。
- (2) 在仿真和设计两方面支持标准硬件描述语言的功能强大的 EDA 软件不断推出。
- (3) 电子技术全方位纳入 EDA 领域,除了日益成熟的数字技术外,传统的电路系统设计建模理念发生了重大的变化,包括软件无线电技术的崛起,模拟电路系统硬件描述语言的表达和设计的标准化,系统可编程模拟器件的出现,数字信号处理和图像处理的全硬件实现方案的普遍接受,软硬件技术的进一步融合等。
- (4) EDA 使得电子领域各学科的界限更加模糊,更加互为包容:模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 FPGA、行为与结构等。
- (5) 更大规模的 FPGA 和 CPLD 器件不断推出。
- (6) 基于 EDA 工具的 ASIC 设计标准单元已涵盖大规模电子系统及 IP 核模块。
- (7) 软硬件 IP 核在电子行业的产业领域、技术领域和设计应用领域得到进一步确认。
- (8) SOC 高效低成本设计技术的成熟。

总之,现代电子设计离不开 EDA 技术,EDA 在教学、科研、产品设计与制造等各方面都发挥着巨大的作用。目前,几乎所有的理工科,特别是电子信息类专业都开设了 EDA 课程,让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理、掌握用 HDL 语言编写规范、掌握逻辑综合的理论和算法、使用 EDA 工具进行电子电路课程的实验验证并从事简单系统的设计,学习电路仿真工具(如 Multisim、Pspice)和 PLD 开发工具(如 Altera/Xilinx 的器件结构及开发系统),为今后的工程实践打下基础。

1.2 工程实践能力的培养

对于电子信息类专业学生来说,工程实践能力与今后的职业发展息息相关,因此,要特别重视动手能力的培养,注意从以下几方面进行加强。

(1) 注重专业基础知识、基本理论的掌握。

基础知识是做工程中最为底层的一环,也是最重要的一环。任何工程实践都离不开扎实的理论功底支持,技术经验丰富的工程师也不能忽视对基本理论知识的学习,这个学习过程应该伴随设计而不断扩展,这样才能为后续的动手实践做好铺垫。要跟踪最新的标准动态,掌握技术发展方向,提前做好技术的储备工作,减少开发的周期。

(2) 借助案例,消化吸收,举一反三。

做工程往往不需要从头做起,而且往往产品研发的时效性也不会允许。工程师要站在巨人的肩膀上,行使“拿来主义”,主动获取可利用的资源,特别是可借鉴参考的成功案例,解剖成功的产品,学习先进的设计理念。当然,一定要把别人的东西转化为自己的内容,这就需要认真地学习消化,同时结合自身的立意背景,融入自己的设计意图,达到融会贯通的目的,同时举一反三,不断积累,不断提高。

(3) 团队协作与实际动手实践是提高设计能力的捷径。

在一定程度上,可以说做项目的多少与工程实践能力、水平成正比,因此,应把握动手的机会,多实践,多总结,在实践中发现问题,提升设计能力。做设计,离不开团队的力量,现代电子系统设计,分工越来越细,手工作坊式的开发模式已经不能适应“面市时间”的挑战,所以,在团队中学习、在团队中发挥自己的力量,分享成果,是提高设计能力的捷径。

1.3 电子设计工程问题

1.3.1 电子设计中的 EMC 与抗干扰

在电子系统设计中,为了少走弯路和节省时间,应充分考虑电磁兼容问题,满足抗干扰性的要求,避免在设计完成后再去进行抗干扰的补救。形成干扰的基本要素有三个。

(1) 干扰源,指产生干扰的元件、设备或信号,用数学语言描述如下:电压变化量 du/dt 、电流变化量 di/dt 大的地方就是干扰源。如:雷电、继电器、可控硅、电机、高频时钟等都可能成为干扰源。

(2) 传播路径,指干扰从干扰源传播到敏感器件的通路或媒介。典型的干扰传播路径是通过导线的传导和空间的辐射。

(3) 敏感器件,指容易被干扰的对象。如: A/D、D/A 变换器,单片机,数字 IC,弱信号放大器等。

抗干扰设计的基本原则是:抑制干扰源,切断干扰传播路径,提高敏感器件的抗干扰性能。

抑制干扰源就是尽可能地减小干扰源的 du/dt 、 di/dt 。这是抗干扰设计中最优先考虑和最重要的原则,常常会起到事半功倍的效果。减小干扰源的 du/dt 主要是通过干扰源两端并联电容来实现,减小干扰源的 di/dt 则是在干扰源回路串联电感或电阻以及增加续流二极管来实现。

按干扰的传播路径可分为传导干扰和辐射干扰两类。所谓传导干扰是指通过导线传播到敏感器件的干扰。高频干扰噪声和有用信号的频带不同,可以通过在导线上增加滤波器的方法切断高频干扰噪声的传播,有时也可加隔离光耦来解决。电源噪声的

危害最大,要特别注意处理。所谓辐射干扰是指通过空间辐射传播到敏感器件的干扰。一般的解决方法是增加干扰源与敏感器件的距离,用地线把它们隔离和在敏感器件上加屏蔽罩。

提高敏感器件的抗干扰性能是指从敏感器件角度考虑尽量减少对干扰噪声的拾取,以及从不正常状态尽快恢复的方法。如:布线时尽量减少回路环的面积,以降低感应噪声;电源线和地线要尽量粗,除减小压降外,更重要的是降低耦合噪声;对于单片机闲置的I/O口,不要悬空,要接地或接电源,其他IC的闲置端在不改变系统逻辑的情况下接地或接电源;对单片机使用电源监控及看门狗电路;在速度能满足要求的前提下,尽量降低单片机的晶振和选用低速数字电路;IC器件尽量直接焊在电路板上,少用IC座等。

1.3.2 可靠性设计

可靠性通常被定义为:产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。或者定义为:在规定的条件下和规定时间内所允许的故障数。数学表达式为平均故障间隔时间(MTBF)。这就认为随机故障是不可避免的,也是可以接受的。这就导致由于设计原因引起的故障只要在允许数之内,往往不能追溯到最终根源。由于制造过程导致的故障,只要仍低于许可的故障数也就不被追究。为此,在国际上早在1995年对传统的可靠性定义提出了质疑,在欧洲开始用无维修使用期(MFOP)取代原先的MTBF,故障率浴盆曲线分布规律也就被打破。由此,摒弃随机失效无法避免的旧观念。因此,当前国际上兴起的在可靠工程中推行失效物理方法的新潮流,设计出不存在随机失效的产品并非没有可能。同时,从故障修理转换到计划预防维修,就需要产品研发设计人员必须清楚产品将会怎样发生故障,一般何时发生故障。

以自下而上的可靠性设计方法,取代采用MTBF进行自上而下分配方法。当产品系统构思和设计完成之后,单元的设计师们应在设计前充分了解单元,模块的环境条件,可能发生故障的关键部及故障模式、机理,在设计时重点加以解决,且自下而上可能存在的可靠性问题都得到彻底解决,不仅可以将系统可靠性建立在踏实的基础上,而且可以确保系统的可靠性指标留有充分的余地。同时避免因设计后期发现问题再进行更改设计,不仅费时,且效果不好,重点可采取如下设计措施:①采用状态监控,故障诊断和故障预测设计;②引入容错和冗余设计;③可重构性设计;④动态设计;⑤故障软化设计;⑥环境保护设计;⑦冗余设计;⑧在任务能力不受影响下,留出可接受的降级水平设计等。

在可靠性设计中,要特别考虑热设计,把它提高到科学的高度,不仅仅凭经验去做。例如:在电子产品的设计中,如何合理布置发热元件,使其尽量远离对温度比较敏感的其他元器件;合理安排通风器件(风扇等),通过机箱内、外的空气流动,使得机箱内部的温度不致太高。热设计的目的,就是要根据相关的标准、规范或有关要求,通过对产品各组成部分的热分析,确定所需的热控措施,以调节所有机械部件、电子器件和其他一切与热有关的成分的温度,使其本身及其所处的工作环境的温度都不超过标准和规范所规定的温度范围。对于电子产品,最高和最低允许温度的计算应以元器件的耐热性能和应力分析为基础,并且与产品的可靠性要求以及分配给每一个元器件的失效率相一致。

1.3.3 可测性设计

可测性分析是指对一个初步设计好的电路或待测电路不进行故障模拟就能定量地估计出其测试难易程度的一类方法。在可测性分析中,经常遇到三个概念:可控制性、可观察性和可测性。

可控制性:通过电路的原始输入向电路中的某点赋规定值(0 或 1)的难易程度。

可观察性:通过电路的原始输入了解电路中某点指定值(0 或 1)的难易程度。

可测性:可控制性和可观察性的综合,定义为检测电路中故障的难易程度。

可测性分析就是对可控制性、可观察性和可测性的定量分析。但在分析过程中,为了不失去其意义,必须满足下面两条基本要求:

(1) 精确性,即通过可测性分析之后,所得到的可控制性、可观察性和可测性的值能够真实地反映出电路中故障检测的难易程度。

(2) 复杂性,即计算的复杂性,也就是对可控制性和可观察性的定量分析的计算复杂性要低于测试生成复杂性,否则就失去了存在的价值。

根据很多实验证实,测试生成和故障模拟所用的计算机的时间与电路中门数的平方到立方成正比,也就是说测试的开销呈指数关系增长。但另一方面,由于微电子技术的发展,研制与生产成本的增长速度远远小于指数增长。因此,就使得测试成本与研制成本的比例关系发生了极大的变化,有的测试成本甚至占产品总成本的 70% 以上,出现了测试与研制开销倒挂的局面。

综上所述,如果只考虑改良测试方法,那将远远不能适应电路集成度的增长的需要,积极的做法就是采用一种从一开始就将故障测试问题考虑到电路设计中去,即可测性设计的方法。采用可测性设计可使测试生成处理开销大大下降,对于 LSI(大规模集成电路)和 VLSI(超大规模集成电路),可测性设计是必不可少的。

1.3.4 电子系统的故障诊断与排除

随着电子系统的规模和复杂性日益俱增,系统的维护、修理和调试已变得相当困难,维护一个系统的费用甚至高于设计一个系统的费用。在系统的维护中,不能及时发现和修复故障,不仅会导致设备损坏,甚至会造成停工停产,部门瘫痪,从而带来极大的经济损失。因此,故障检测和诊断技术则为提高系统的可靠性、可维修性和有效性开辟了新的路径。然而,古老的人工测试手段不仅对技术人员的素质有很高的要求,而且测试的速度慢,修复时间长,经济效益也低,又不能实现在线诊断,随着电路的日趋复杂,根本无法胜任这一任务。计算机科学的迅猛发展和日益普及,为故障诊断提供了有效的工具,使之借助计算机的自动故障诊断应运而生,并显示出广阔的应用前景。

电子电路的故障是多种多样的,产生的原因也很多。总的说来,大体上有如下几类:

(1) 电路元器件不良引起的故障。如电阻、电容、晶体管、集成电路等损坏或性能不良,参数不符合要求;印制电路板和面包板出现内部短路、开路等。

(2) 电路安装不良引起的故障。如连线错误(包括错接、漏接、多接、断线,布线不当等),元器件安装错误(包括晶体管、集成电路引脚接错,电解电容极性接反等),接触不良(包括焊接点虚焊、接插不牢、接地不良)等。

(3) 各种干扰引起的故障。如接地处理不当(包括地线阻抗过大,接地点不合理,仪器与电路没有“共地”等),直流电源滤波不佳(可能引起 50Hz 或 100Hz 干扰,甚至产生自激振荡),通过电路分布电容等的耦合产生的感应干扰等。

(4) 测试仪器引起的故障。如测试仪器本身存在故障(包括功能失效或变差,测试线断线或接触不良等),仪器选择或使用不当(如示波器使用不正确引起波形异常,仪器输入阻抗偏低,频带偏窄引起较大的测量误差等),测试方法不合理(如测试点选择不合理)等。

故障检查的一般方法如下:

(1) 直接观察法。直接观察法就是不使用仪器,利用人的感官来发现问题,寻找与排除故障。如通电前检查和通电后观察就是直接观察法。

(2) 用万用表、示波器检测直流状态。用万用表、示波器等检查电路的直流状态,主要是通过测量电路的直流工作点或各输出端的高、低电平及逻辑关系等来发现问题,查找故障。一般说来,通过上述检测,再加上分析、判断就可以发现电路设计和电路安装中出现的大部分故障。

(3) 信号寻迹法。根据电路的工作原理、各测试点的设计工作波形、性能指标要求,在输入端施加幅度与频率均符合要求的信号,用示波器由前级到后级,逐级检测各级(测试点)的输入、输出信号波形。如果哪一级出现异常,则故障就在该级。之后再集中精力分析,解决该级存在的问题。

上面所介绍的三种方法是故障检测有效的、常用的方法。在实践中也常根据不同情况选择其他方法,可能会取得更好的效果。

例如,当一个电路一接通直流电源,电源的输出电流过大,过流保护电路动作或发出报警,此时可依次断开各单元电路(或模块)的供电。如果某一单元(或模块)断开后,电源电流恢复正常,则可知故障就出在该单元(或模块)。这种方法常称为断路法。

再如,在仪器设备维修、批量电路调试等工作中,常用工作正常的插件板、部件、单元电路、元器件等代替相同的但怀疑有故障的相应部分,即可快速判断出故障部位。这种方法称为替代法。

总之,寻找故障的方法是多种多样的,要根据设备条件、故障情况灵活运用。能否快速、准确地检测到故障并加以排除,不但要有理论的指导,更重要地要靠实践经验的不断积累。

第2章 基础知识与基本技能

本章概要讲述常见的基本单元电路、电子系统设计所要用到的开发工具、电子工艺技能基础和测试仪器仪表,为后续章节的实例应用提供开发调试基础。

2.1 常见基本单元电路

1. 三极管放大器

图2-1所示电路图为最常用的电阻分压式共射极三极管放大器电路,用电位器作基极偏置电阻可以方便地对静态工作点进行调节。

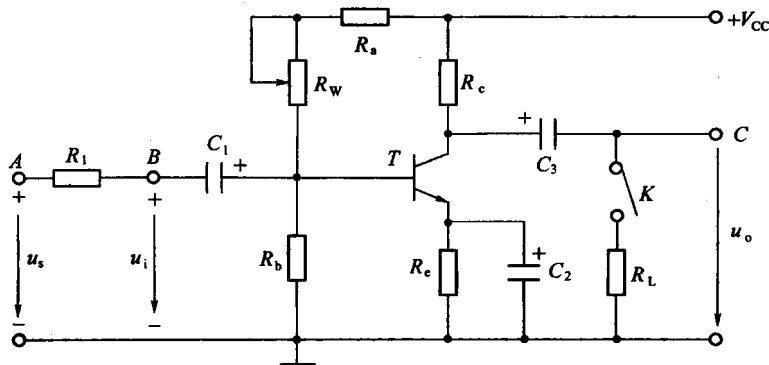


图2-1 共射极放大器电路

2. 场效应管放大器

图2-2是一种常用的电阻分压式场效应管共源极放大电路,电位器可用来方便地调节静态工作点。

3. 运放的线性应用

1) 反相放大器

反相放大器(即反相比例运算电路)如图2-3所示。其闭环电压增益为

$$A_{uf} = -R_F/R_1$$

2) 同相放大器

同相放大器(即同相比例运算电路)如图2-4所示。其闭环电压增益为

$$A_{uf} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

同相放大器的输入电阻 $R_i = r_{ic}$, 输出电阻 $R_o \approx 0$, 平衡电阻 $R_2 = R_1 // R_F$ 。其中, r_{ic} 为运放本身同相端对地的共模输入电阻, 一般为 $10^8 \Omega$ 。同相放大器具有输入阻抗非常高、

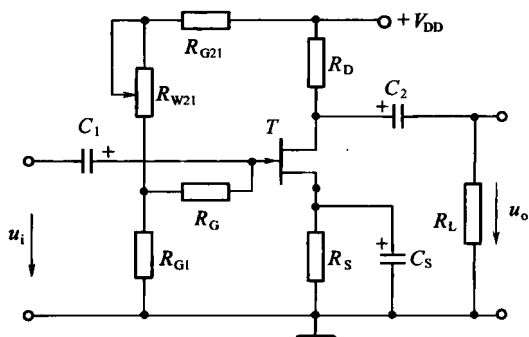


图 2-2 结型场效应管共源极放大器

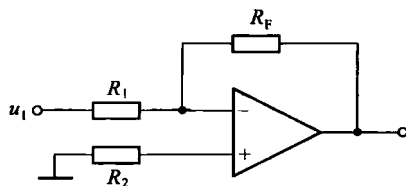


图 2-3 反相放大器

输出阻抗很低的特点,广泛用于前置放大级。

图 2-4 中,若 $R_F \approx 0, R_1 = \infty$ (开路),则增益变为 1,变成电压跟随器。与晶体管射随器相比,集成运放的电压跟随器的输入阻抗更高,输出阻抗更小,可视为电压源,是较理想的阻抗变换器,常作为缓冲级使用。

3) 反相加法器

反比例加法器电路如图 2-5 所示。

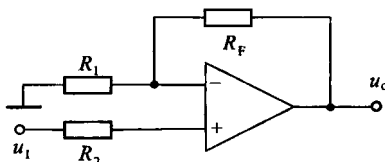


图 2-4 同相放大器

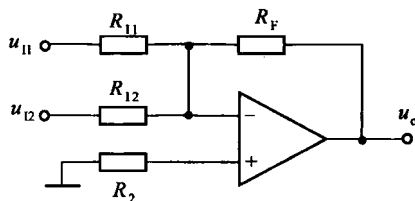


图 2-5 反向比例加法器

4) 差动放大器、减法运算电路

如图 2-6 所示,当运放的反相端和同相端分别输入信号 u_{i1} 和 u_{i2} 时,则输出电压为

$$u_o = -\frac{R_F}{R_{12}}u_{i2} + \left(1 + \frac{R_F}{R_{12}}\right)\frac{R_2}{R_{11} + R_2}u_{i1}$$

当 $R_{11} = R_{12}, R_F = R_2$ 时电路变为差动放大器,其差模电压增益为

$$A_{ud} = \frac{u_o}{u_{i1} - u_{i2}} = \frac{R_F}{R_{12}} = \frac{R_2}{R_{11}}$$

差动放大器的输入电阻为 $R_{id} = R_{11} + R_{12} = 2R_{11}$ 。而当 $R_{11} = R_{12} = R_F = R_2$ 时,电路成为减法器,输出电压为 $u_o = u_{i1} - u_{i2}$ 。

由于差动放大器具有双端输入单端输出、共模抑制比较高的特点,通常用作传感放大器或测量仪器的前端放大器。

5) 积分运算电路

积分运算电路的基本电路如图 2-7 所示,其输出电压为

$$u_o = u_o(t_0) - \frac{1}{RC} \int_{t_0}^t u_1(\tau) d\tau$$

式中, RC 为积分时间常数。为限制电路的低频电压增益, 可将反馈电容 C 与一电阻 R_F 并联使用。

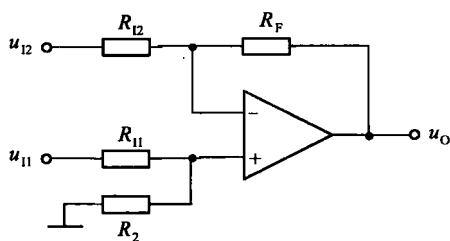


图 2-6 差动放大器

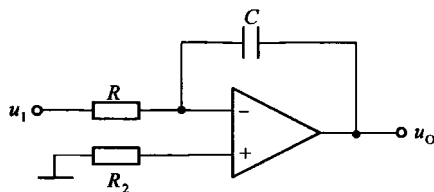


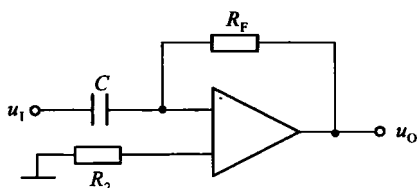
图 2-7 积分运算电路

6) 微分运算电路

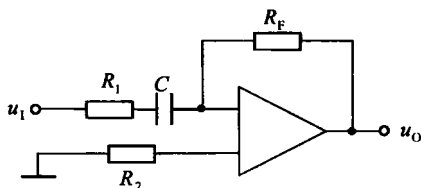
微分运算电路的基本电路如图 2-8(a) 所示, 其输出电压为

$$u_o = -R_F C \frac{du_1}{dt}$$

式中, $R_F C$ 为微分时间常数。



(a) 基本微分运算电路



(b) 限制高频电压增益的微分运算电路

图 2-8 微分运算电路

由于基本微分运算电路中的电容 C 的容抗会随着输入信号频率的升高而减小, 因此输出电压随频率升高而增加。为限制电路的高频电压增益, 可在输入端与电容 C 之间接入一个小电阻 R_1 , 如图 2-8(b) 所示。当输入频率低于 $f_0 = 1/2\pi R_1 C$ 时, 电路起微分作用; 若输入频率远高于 f_0 , 则电路近似一个反相放大器, 高频电压增益为 $A_{uf} = -R_F/R_1$ 。

4. 典型有源滤波器

1) 二阶低通滤波器

图 2-9 所示电路是一个二阶低通滤波器, 集成运放采用 $\mu A741$, 设计截止频率 $f_H = 2\text{kHz}$, 通带增益 $A_{uf} = 2$ 。

2) 二阶高通滤波器

图 2-10 所示电路为一个二阶高通滤波器, 集成运放采用 $\mu A741$, 设计截止频率 $f_L = 100\text{Hz}$, 通带增益 $A_{uf} = 5$ 。

3) 二阶带通滤波器

图 2-11 所示电路是一个二阶带通滤波器, 集成运放采用 $\mu A741$, 设计中心频率 $f_0 = 1\text{kHz}$, 通带增益 $A_{uf} = 2$, 品质因数 $Q = 10$ 。

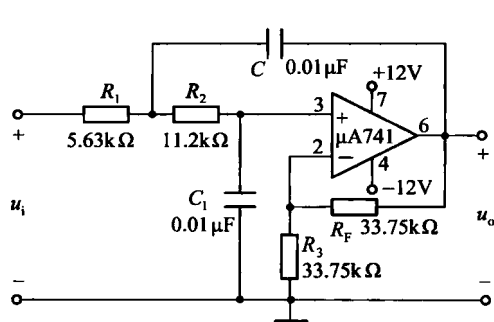


图 2-9 二阶低通滤波器

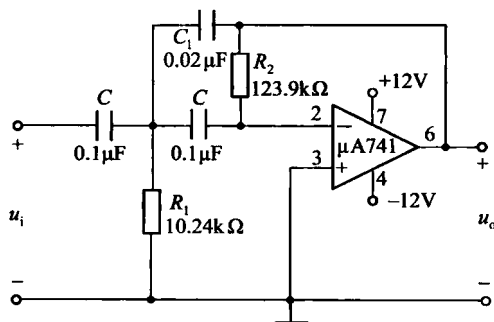


图 2-10 二阶高通滤波器

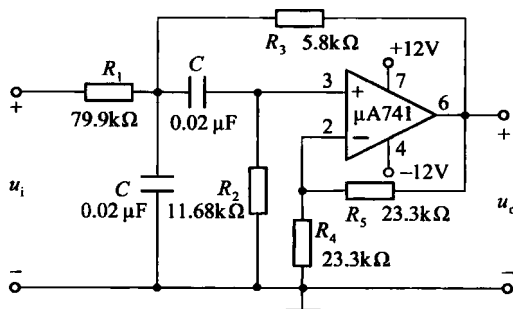


图 2-11 二阶带通滤波器

4) 二阶带阻滤波器

图 2-12 所示电路是一个二阶带阻滤波器,其阻带中心频率 $f_c = 50\text{Hz}$,可用来抑制 50Hz 工频干扰信号,设计通带增益 $A_{uf} > 1$,品质因数 $Q = 10$ 。

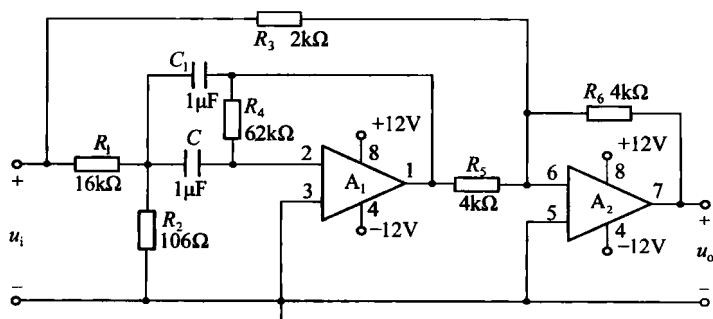


图 2-12 二阶 MFB 型带阻滤波器

5. 运放的非线性应用

1) 迟滞比较器

图 2-13 为迟滞比较器的两种基本形式,图中(a)为反相端输入的迟滞比较器(即下行迟滞比较器),图(b)为同相端输入的迟滞比较器(即上行迟滞比较器),它们均由电阻 R_F 和 R_2 构成正反馈。

2) 方波三角波发生器实例

图 2-14 所示电路为一个简化了的矩形波和锯齿波发生器实际电路。图中,若 K_1 断

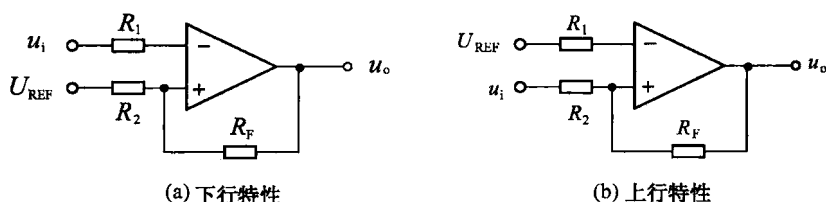


图 2-13 两种基本形式的迟滞比较器

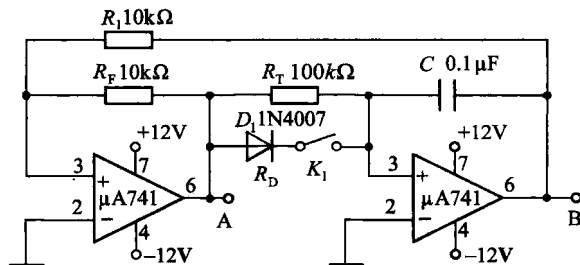


图 2-14 方波三角波发生器

开,此电路即为方波三角波发生器;若 K_1 闭合,则电容充放电路径不同,电路成为矩形波和锯齿波发生器。

6. 低频功率放大器

图 2-15 所示为 OTL 低频功率放大器。该电路即单电源供电的 B 类功放电路的具体实现。其中由晶体三极管 T_1 组成推动级(也称前置放大级), T_2 和 T_3 是一对参数对称的 npn 和 pnp 型晶体三极管, 它们组成互补推挽 OTL 功放电路。由于每一个管子都接成射极输出器形式, 因此具有输出电阻低、负载能力强等优点, 适合于作功率输出级。

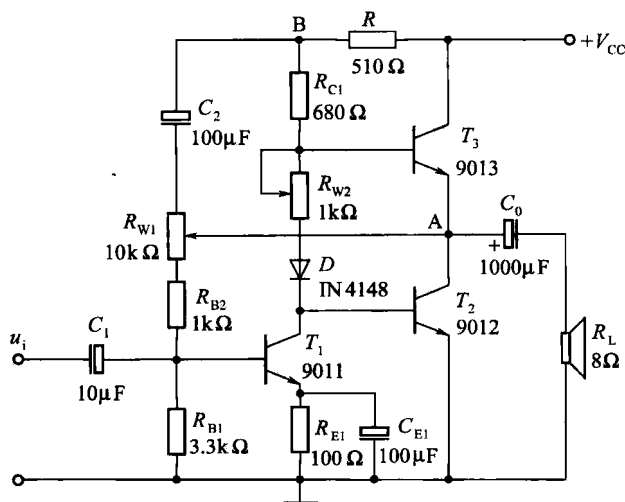


图 2-15 OTL 功率放大器电路

7. 直流稳压电源

直流稳压电源原理图如图 2-16 所示。整个原理电路包括 5 个部分: 电源变压器部分、整流滤波电路、串联稳压电路、三端固定式稳压电路和三端可调式稳压电路。其中, 变