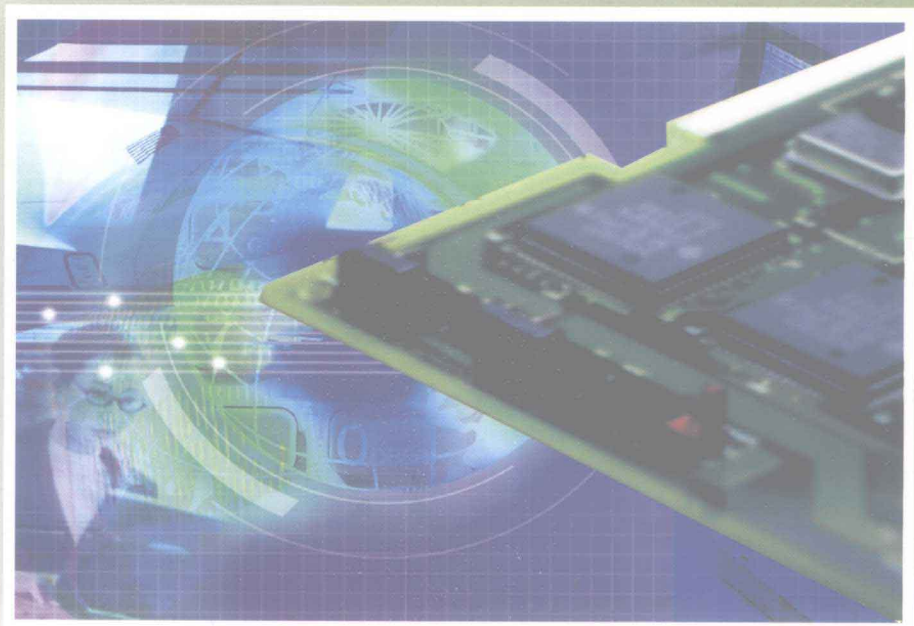


高等学校十二五规划教材·实验技能类

现代电子系统设计与实践

刘延飞 李琪 编著



西北工业大学出版社

现代电子系统设计与实践

刘延飞 李 琪 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书力求遵循由浅入深、由易到难、由简到繁、循序渐进的教学规律,其内容由电子系统设计基础、电子设计常用软件实践、典型单元电路设计、单片机应用系统设计、CPLD/FPGA 应用系统设计、电子综合系统设计实例、电子系统的工程实践和电子系统设计题选等八部分组成。题目的设置遵从循序渐进的原则,从简单的单元电路开始,介绍电子电路的设计和调测方法,逐步增加电路的复杂程度,直至设计和调测小型电子电路系统,既有训练性、验证性实验,也有设计性实验。

本书可作为高等院校工科学生的工程实训指导书和参加竞赛用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子系统设计与实践/刘延飞,李琪编著. —西安:西北工业大学出版社,2011.11
ISBN 978-7-5612-3230-9

I. ①现… II. ①刘…②李… III. ①电子系统—系统设计 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 228742 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14

字数:340 千字

版次:2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

随着半导体加工工艺和集成电路技术的发展,现代电子系统设计、功能实现、信息采集处理和应用方式等发生了质的变化。这对当今大学电子信息类专业人才的培养提出了严峻挑战。如何培养理论基础扎实、创新能力强、综合素质高的人才成为电子信息类教学改革的重要目标。

《现代电子系统设计与实践》一书是针对国内应用电子系统设计的特点和需要,以高校工科专业课程设计(电子基础课程设计)、毕业设计和全国大学生电子设计竞赛为背景,为高等院校工科学生编写的工程实训指导和参加竞赛用书。

本书力求遵循由浅入深、由易到难、由简到繁、循序渐进的教学规律。其内容由电子系统设计基础、电子设计常用软件实践、典型单元电路设计、单片机应用系统设计、CPLD/FPGA 应用系统设计、电子综合系统设计实例、电子系统的工程实践和电子系统设计题选等八部分组成。第一章:基础知识。介绍有关电子系统设计的基础知识,设计原则、方法、抗干扰技术和一篇完整的电子系统设计报告范例等。第二章:常用电子类设计仿真软件介绍,对电子仿真软件 multisim、单片机仿真软件 Proteus、电路图设计制作软件 protel、有源滤波器设计软件 Filter wiz pro 进行步步引导的讲解。第三至第六章:讲解具体单元模块和综合实例设计,分别对基本模拟数字单元电路进行总结说明,对单片机应用设计、CPLD/FPGA 应用设计和电子综合实例进行了详细的讲解和实例说明,力求让学生了解这两种目前最常用芯片的设计理念和设计方法步骤。尤其第六章整理收录了多篇全国大学生电子设计大赛获奖作品制作全过程和技术报告,对学生全面了解电子系统设计步骤和方法有很强的指导意义。第七章:电子系统的工程实践,从元器件挑选、焊接到调试全面介绍工程中应掌握的技术和注意事项。第八章:电子设计题选,编写了多个适合大学生设计的电子系统设计题目供学员选择设计。题目的设置遵从循序渐进的原则,从简单的单元电路开始,介绍电子电路的设计和调测方法,逐步增加电路的复杂程度,直至设计和调测小型电子电路系统,既有训练性、验证性实验,也有设计性实验。

本书的出版,首先要感谢第二炮兵工程大学和西北工业大学出版社的领导和编辑,是他们的帮助使本书列入出版计划。在本书的撰写过程中,第二炮兵工程大学罗正文教授、李正生教授给本书的撰写和修改提出了宝贵的意见;得到了第二炮兵工程专业基础实验中心毕经存主任、毛端海高级实验师和许剑锋教员、101 教研室王国华主任、302 教研室何华锋副主任、303 教研室程昊明副教授的大力支持,他们给予了作者鼓励和工作上的方便;研究生侯荣昌和姜柯以及本科学生李振中、王飞飞、田彪、程毅和冯涛参与了本书实例电路和软件使用的验证和调试,他们对书中部分硬件电路和部分程序的初步调试做了有益的工作。在此一并表示衷心

的感谢!

另外,书后所列参考文献,为本书的基本内容提供了素材,有的还引用了其中的部分内容,尤其全国电子设计大赛获奖论文和网络资源,在此,谨向有关作者表示谢意。

由于水平有限,错误和不妥之处恳请读者批评指正。

编著者

2011年6月

目 录

第一章 电子系统设计基础.....	1
1.1 电子系统概述	1
1.2 电子系统设计常用方法及设计原则	1
1.3 电子系统设计一般步骤	5
1.4 电子系统设计抗干扰技术	8
1.5 电子系统设计实例——液体点滴速度监控装置.....	10
第二章 电子设计常用软件实践	16
2.1 Multisim——电路仿真软件	16
2.2 Proteus——MCU 仿真软件	25
2.3 Protel——电路图绘制软件	38
2.4 Filter Wiz PRO——有源滤波器设计软件	62
第三章 典型单元电路设计	68
3.1 信号采集电路——温度传感器电路.....	68
3.2 信号放大电路——自动增益控制的放大电路.....	69
3.3 信号滤波电路——有源滤波器.....	70
3.4 模数转换电路——A/D 转换器	71
3.5 信号整形电路——整形电路.....	72
3.6 信号发生电路——扫频信号发生器.....	73
3.7 信号调制电路——振幅调制模块.....	74
3.8 信号输出电路——功率放大电路.....	75
3.9 数模转换电路——D/A 转换器	76
3.10 音频输出电路——双音频译码电路	77
3.11 频率/电压转换——基于 LM2907 的 F/V 电路	78
3.12 电流/电压转换——基于 TL431 的 I/V 电路	79
3.13 相位鉴频电路——MC1496 应用	79
3.14 峰值检测电路——二极管包络测峰	80
3.15 直流稳压电路—— $\pm 5/\pm 12\text{ V}$ 对称电源	81
第四章 单片机应用系统设计	82
4.1 单片机概述.....	82
4.2 Keil C51	85

4.3	单片机设计方法	93
4.4	基本应用举例	95
第五章	CPLD/FPGA 应用系统设计	104
5.1	CPLD/FPGA 的基本知识	104
5.2	FPGA 开发原理	107
5.3	FPGA 开发实例——按键控灯	109
5.4	SOPC 的基本开发流程	119
5.5	SOPC 实例——在 FPGA 上实现内嵌单片机功能	121
第六章	电子综合系统设计实例	131
6.1	集成运放参数测试仪	131
6.2	调幅发射机电路的设计	142
6.3	低频数字式相位测量仪	152
6.4	简易心电图仪	162
6.5	手持式数字示波表	169
第七章	电子系统的工程实践	184
7.1	元器件的测试与筛选	184
7.2	装配工艺	191
7.3	元器件的焊接	195
7.4	调试技术	201
第八章	电子系统设计题选	205
8.1	数字智力竞赛抢答器的设计	205
8.2	电子密码锁的设计	206
8.3	可编程彩灯控制器的设计	207
8.4	直流电机的转速检测与脉宽调速器的设计	208
8.5	数字式电容测量仪的设计	209
8.6	数字频率计的设计	209
8.7	乒乓球比赛模拟机的设计	210
8.8	十字路口交通管理控制器的设计	211
8.9	洗衣机控制器的设计	213
8.10	压力信号峰值检测器的设计	214
8.11	声控电子锁的设计	215
8.12	小功率数控直流电压源的设计	216
参考文献		218

第一章 电子系统设计基础

1.1 电子系统概述

电子系统分为模拟型、数字型及两者兼而有之的混合型三种,无论哪一种电子系统,它们都是能够完成某种任务的电子设备。通常把规模较小、功能单一的电子系统称为单元电路,实际应用中的电子系统由若干单元电路构成。一般的电子系统由输入、输出和信息处理三大部分组成,用来实现对信息的采集处理、变换与传输功能。图 1-1 为电子系统基本组成方框图。

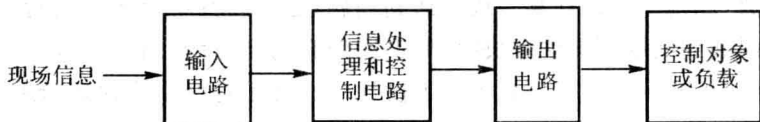


图 1-1 电子系统基本组成方框图

从系统的角度看,电子系统是能按特定的控制信号,执行所设想的功能,由一组元件(通常是电子元件)联成的一个整体。这样,很多东西,例如从单级放大器到最复杂的计算机都可以称为一个电子系统。我们可以将很多元件集成为一个功能单元,再用若干个功能单元去描述一个系统。在认识、理解与设计电子系统的过程中,这样的功能单元常常不用给出详细的内部结构,而只须从输入、输出特性去描述,这就需要用到黑箱分析法。

黑箱分析法是系统科学中的主要方法之一。人们在从事科学研究时,常常会遇到一些需要认识或控制的系统(称为客体)。由于种种条件限制,这些客体的内部结构和机理尚不能或不便被直接观察到,仿若一个不透明的密封箱子,将这种客体称为黑箱(Black Box)是极其形象的。所谓黑箱辨识方法,就是通过考察黑箱的输入、输出及其动态过程,而不是通过直接考察其内部结构,来定量地研究黑箱的功能特性、行为方式,从而探索其内部结构和机理。

1.2 电子系统设计常用方法及设计原则

1.2.1 自底向上设计方法

传统的系统设计采用自底向上的设计方法。这种设计方法采用“分而治之”的思想,在系统功能划分完成后,利用所选择的元器件进行逻辑电路设计,完成系统各独立功能模块设计,然后将各功能模块按搭积木的方式连接起来构成更大的功能模块,直到构成整个系统,完成系统的硬件设计。这个过程从系统的最底层开始设计,直至完成顶层设计,因此将这种设计方法称为自底向上的设计方法。用自底向上设计方法进行系统设计时,整个系统的功能验证要在

所有底层模块设计完成之后才能进行,一旦不满足设计要求,所有底层模块可能需要重新设计,延长了设计时间。

1.2.2 自顶向下设计方法

自顶向下设计方法是从系统的组成开始设计,然后进行系统级设计,单元级设计,最后落实到选择什么器件和芯片。这种方法的优点是能站得高、看得远,把握系统设计的主线,思路很清晰。

使用自顶向下设计方法时应注意以下两点:

(1)在进行系统级设计时,要抓主要矛盾,不必过多地考虑底层选择什么电路、选什么器件,要“抓大放小”,稳步推进,这时获得的设计结果往往是系统的方框图或称为方案。系统级设计很重要,但所需时间比较少,特别是竞赛题目,应能很快确定方案,不可在确定方案时犹豫不决,拿不定注意,延误时间。

(2)上一级设计应对下一级设计负责,保证上一级设计的正确和完美,称为“高层主导”原则和“问题不下放”原则。在设计某一级时遇到问题,必须将其解决才能进行下一级设计。此外,当设计到底层遇到问题而无法解决时,要退回到它的上一级,通过修改上一级或更上一级的设计来减轻下一级的设计困难。自顶向下设计法适合于各级层次比较分明的大型系统,一个系统包括数个子系统,而每个子系统又包括数个单元,采用自顶向下法较为合理。

1.2.3 层次式设计方法

层次式设计方法的基本策略是将一个复杂系统按功能分解成可以独立设计的子系统,子系统设计完成后,将各子系统拼接在一起完成整个系统的设计。一个复杂的系统分解成子系统进行设计可大大降低设计复杂度。由于各子系统可以单独设计,因此具有局部性,即各子系统的设计与修改只影响子系统本身,而不会影响其他子系统。

利用层次性,将一个系统划分成若干子系统,然后子系统可以再分解成更小的子系统,重复这一过程,直至子系统的复杂性达到了在细节上可以理解的适当的程度。

模块化是实现层次式设计方法的重要技术途径,模块化是将一个系统划分成一系列的子模块,对这些子模块的功能和物理界面明确地加以定义,模块化可以帮助设计人员阐明或明确解决问题,还可以在模块建立时检查其属性的正确性,因而使系统设计更加简单明了。将一个系统的设计划分成一系列已定义的模块还有助于进行集体间共同设计,使设计工作能够并行开展,缩短设计时间。

1.2.4 嵌入式设计方法

现代电子系统的规模越来越复杂,而产品的上市时间(time to market)却要求越来越短,即使采用自顶向下设计方法和更好的计算机辅助设计技术,对于一个百万门级规模的应用电子系统,完全从零开始自主设计是难以满足上市时间要求的。嵌入式设计方法在这种背景下应运而生。嵌入式设计方法除继续采用自顶向下设计方法和计算机综合技术外,它的最主要的特点是大量知识产权(Intellectual Property, IP)模块的复用,这种IP模块可以是RAM, CPU以及数字信号处理器等。在系统设计中引入IP模块,使得设计者可以只设计实现系统其他功能的部分以及与IP模块的互连部分,从而简化设计,缩短设计时间。

一个复杂的系统通常既包含有硬件,又有软件,因此需要考虑哪些功能用硬件实现,哪些功能用软件实现,这就是硬件/软件协同设计的问题。硬件/软件协同设计要求硬件和软件同时进行设计,并在设计的各个阶段进行模拟验证,减少设计的反复,缩短设计时间。硬件/软件协同是将一个嵌入式系统描述划分为硬件和软件模块以满足系统的功耗、面积和速度等约束的过程。

嵌入式系统的规模和复杂度逐渐增长,其发展的另一趋势是系统中软件实现功能增加,并用软件区分不同的产品,增加灵活性、快速响应标准的改变,降低升级费用和缩短产品上市时间。

1.2.5 基于 IP 的系统芯片(SOC)的设计

为了解决当前集成电路的设计能力落后于加工技术的发展与集成电路行业的产品更新换代周期短等问题,基于 IP 的集成电路设计方法应运而生。IP 的基本定义是知识产权模块。对于集成电路设计师来说,IP 则是可以完成特定电路功能的模块,在设计电路时可以将 IP 看作黑匣子,只须保证 IP 模块与外部电路的接口,无须关心其内部操作。这样在设计芯片时所处理的是一个模块,而不是单个的门电路,可以大幅度地降低电路设计的工作量,加快芯片的设计流程。利用 IP 还可以使设计师不必了解设计芯片所需要的所有技术,降低了芯片设计的技术难度。利用 IP 进行设计的另一好处是消除了不必要的重复劳动。IP 与工业产品不同,复制 IP 是不需要花费任何代价的,一旦完成了 IP 的设计,使用的次数越多,则分摊到每个芯片的初始投资越少,芯片的设计费用也因此会降低。

SOC(System on a Chip)系统芯片有各种不同的定义方式。具体到芯片功能来说,SOC 芯片意味着在单个芯片上,完成以前需要一个或多个印刷线路板才能够完成的电路功能。SOC 芯片意味着在单芯片上集成一个完整的数据处理系统,其结构是比较复杂的。SOC 芯片的运行需要强大的软件支持,而且芯片的功能会随支持软件的不同而变化,因此在设计芯片的同时需要进行软件编写工作,并非以往单纯的电路设计。这一特点在增强芯片功能及适用范围的同时增加了芯片的设计与验证难度,在芯片设计的初期需要仔细地进行功能划分,确定芯片的运算结构,并评估系统的性能与代价。SOC 芯片的出现在芯片的优化设计方面也提出了很大的挑战。芯片的设计需要系统设计人员与软件设计人员的深入参与,在 SOC 芯片的设计流程中,一般都结合了自顶向下和自底向上设计的特点。与传统的芯片设计相比,SOC 芯片设计有以下几项主要特点:

- (1)芯片的软件设计与硬件设计同步进行。
- (2)各模块的综合与验证同步进行。
- (3)在综合阶段考虑芯片的布局布线;
- (4)只在没有可利用的硬模块或软宏模块的情况下重新设计模块。

1.2.6 设计应遵循基本原则

电子电路设计最基本的原则应该使用最经济的资源实现最好的电路功能。在这一基本原则下,应注意以下几个方面:

1. 尽量提高性价比

合理权衡成本、体积、功耗等指标。例如,对电池供电的便携式仪器仪表电路,设计时要重

点考虑功耗和体积。而对由市电供电的实验室仪器,功耗将不是主要的考虑因素。一个电子电路,可能有多种设计方案,在设计时,应尽量提高性价比。例如设计一个电子计数器,用PLD器件7128和单片机都能实现,但采用7128就显得浪费,因为7128约80元一片,而51单片机约8元一片。也就是说,7128可以用来设计较大的数字系统,用它来设计电子计数器是大材小用。再者,在一般的放大电路中,能用普通运放,就不必采用高精度运放;能用8位单片机实现功能,就不必采用16位单片机。

2. 设计中的“软件”与“硬件”的考虑

设计中,能用软件编程实现的功能,就不要用硬件电路来实现,这实质上也是在追求性价比。仍以电子计数器为例,在计数频率不高的情况下,有现成的电子计数芯片7226,40引脚封装,如果用7226来实现,不但价格高,电路也复杂。如果用单片机来实现,只要利用其丰富的指令系统对其编程开发,不但实现电子计数功能,还能扩展其他功能,如键盘管理、自动测试、实时时钟显示,而这些功能并不增加硬件电路。

3. 单元电路的选取

电路设计的工作主要是选择或设计单元电路的结构形式,所设计的电路能用软件实现就不用硬件。在非用硬件不可的情况下,也应在满足性能指标要求的前提下,力求结构简单,合理实用,技术先进,切忌电路复杂。例如:能用集成块就不用分立元件;能用单电源供电就不用双电源;对于组合逻辑电路,可借助于逻辑表达式、卡诺图等工具化简。最终目的是使设计的电路简单、可靠性高、成本低。在选择单元电路时,最好选择典型电路或现成电路,最简单的方法是从已学过的或从文献资料中寻找现成的电路,各种单元电路的参考资料很多,资料中所介绍的电路形式有的可直接借用,有的略加改进即可应用。

4. 采用器件的考虑

电子电路设计中涉及许多器件,在选择器件时主要考虑规格、型号、报价、性能甚至厂商。以下几个问题值得注意:

(1)电子器件的更新换代非常快,新器件不断进入电子市场,而且新器件为了抢占市场,往往价位定的较低。在电子电路中,鼓励采用新技术、新工艺、新器件,电子电路采用较多的新器件,说明该电子电路有创新。

(2)应选择当前流行的“大路货”。有些“大路货”器件,如51系列单片机、555时基块、三端稳压器等占据市场经久不衰,价格低廉,很容易买到。切忌过分追求使用高档、贵重器件。

(3)应尽量选用现成的模块或组件。模块或组件实际上是半成品或成品,是器件开发商推出的实现某一功能的电路,内部已组装完成,对外只有几个引脚,如电源、地、输出、输入,这些电路模块价位低廉,使用方便,很受欢迎。

5. 尽量采用标准接口

采用国际标准接口易于实现各种仪器设备的控制、数据传输和通信,便于功能扩展,易于组成功能更强的电路系统。设计中应注意采用模块化结构、总线结构和标准化的接口。

优秀的电路实现方案应该是简洁、可靠的。要以最少的社会劳动消耗获得最大的劳动成果。这里所说的社会劳动,包括在产品的设计、产品生产、产品维护以及元器件的生产中所付出的劳动。为了控制产品成本,常常采用目标价格反算法,也就是先根据市场调查对相应的技术指标制定目标价格,然后在设计实施中找出影响产品经济指标的关键因素,并采取针对性较强的措施。

1.3 电子系统设计一般步骤

电子系统的设计方法,没有一成不变的步骤,它往往与设计者的经验、兴趣、爱好密切相关。为了便于理解,设计过程归纳为以下五个技术环节,设计流程如图 1-2 所示。

设计电子电路系统时,首先必须明确系统的设计任务,根据任务进行方案选择,然后对方案中的各个部分进行单元的设计,参数计算和器件选择,最后将各个部分连接在一起,画出符合设计要求的完整的系统电路图。

1.3.1 明确系统的设计任务要求

对系统的设计任务进行具体分析,充分了解系统的性能、指标、内容及要求,以明确系统应完成的任务。

1.3.2 方案论证与选择

方案论证与选择的要求是把系统要完成的任务分配给若干个单元电路,并画出一个能表示各单元功能的系统原理框图。

方案选择的重要任务是根据掌握的知识和资料,针对系统提出的任务、要求和条件,完成系统的功能设计。

在这个过程中要敢于探索、勇于创新,力争做到设计方案合理、可靠、经济、功能齐全和技术先进,并且对方案要不断进行可行性和有缺点的分析,最后设计出一个完整框图。系统框图必须正确反映应完成的任务和各组成部分的功能,清楚表示系统的基本组成和相互关系。

1.3.3 单元电路的设计、仿真与参数计算

根据系统的指标和功能框图,明确各部分任务,进行各单元电路的设计、参数计算和器件选择。

(1)单元电路设计。单元电路是整机的一部分,只有把各单元电路设计好才能提高整机设计水平。每个单元电路设计前都须明确各单元电路的任务,详细拟定出单元电路的性能指标,与前后级之间的关系,分析电路的组成形式。具体设计时,可以模仿传输先进的电路,也可以进行创新或改进,但都必须保证性能要求。而且,不仅单元电路本身要设计合理,各单元电路间也要互相配合,注意各部分的输入信号、输出信号和控制信号的关系。

(2)计算机仿真。随着计算机技术的飞速发展,电子系统的设计方法发生的很大变化。目前,EDA(电子设计自动化)技术已成为现代电子系统设计的必要条件。在计算机平台上,利用 EDA 软件,可对各种电子电路进行调试、测量、修改,这样可大大提高电子系统设计的效率,同时节约设计费用。

(3)参数计算。为保证单元电路达到功能指标要求,就需要用电子技术知识对参数进行计算。例如,放大电路中各电阻值、放大倍数的计算;振荡器中电阻、电容、振荡频率等参数的计

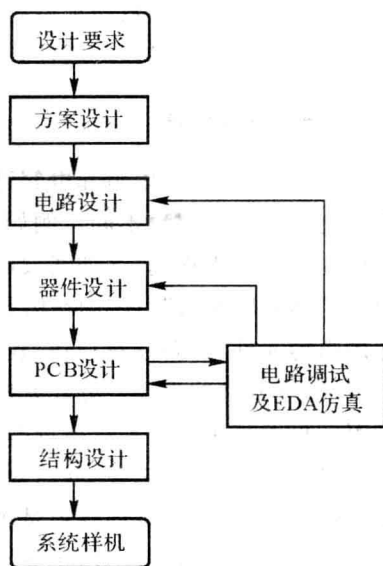


图 1-2 电子系统设计流程图

算。只有很好地理解电路的工作原理,正确利用计算公式,计算的参数才能满足设计要求。

参数计算时,同一个电路可能有几组数据,注意选择一组能完成电路设计要求功能的,并在实践中能真正可行的参数。

计算电路参数时应注意下列问题:

- 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充裕量,一般应大于额定值的 1.5 倍。
- 3) 电阻和电容的参数应选计算值附近的标称值。

1.3.4 器件选择

(1) 元件的选择。电阻和电容种类很多,正确选择电阻和电容是很重要的。不同的电路对电阻和电容性能要求也不同。例如电解电路对电容的漏电要求很严,还有些电路对电阻、电容的性能和容量要求很高,又如滤波电路中常用大容量($100 \sim 3\,000\ \mu\text{F}$)铝电解电容,为滤掉高频通常还须并联小容量($0.01 \sim 0.1\ \mu\text{F}$)瓷片电容。设计时要根据电路的要求选择性能和参数合适的阻容元件,并注意功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。

(2) 分立元件的选择。分立元件包括二极管、晶体三极管、场效应管、光电二(三)极管、晶闸管等。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。例如选择晶体三极管时,首先注意是选择 NPN 型还是 PNP 型管,是高频管还是低频管,是大功率管还是小功率管,并注意管子的各项参数是否满足电路设计指标的要求。

(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机电路的功能,所以选用集成电路来设计单元电路和总体电路既方便又灵活,它不仅使系统体积缩小,而且性能可靠,便于调试及运用,在设计电路时颇受欢迎。

集成电路又分为模拟集成电路和数字集成电路。国内外已生成出大量集成电路,其器件的型号、原理、功能、特征可查阅有关手册。选择的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。

1.3.5 系统电路设计与绘制

为详细表示设计的整机电路及各单元电路的连接关系,设计时须绘制完整电路图。电路图通常是在系统框图、单元电路设计、参数计算和器件选择的基础上绘制的,它是组装、调试和维修的依据。绘制电路图时要注意以下几点:

(1) 布局合理,排列均匀,图片清晰,便于看图,有利于对图的理解和阅读。有时一个总电路由几部分组成,绘图时应尽量把总电路图画在一张图纸上。如果电路比较复杂,须绘制几张图,则应把主电路画在同一张图纸上,而把一些比较独立和次要的部分画在另外的图纸上,并在图的断口两端做上标记,标出信号从一张图到另一张图的引出点和引入点,以此说明各图纸在电路连线之间的关系。有时为了强调并便于看清各单元电路的功能关系,每一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。

(2) 注意信号的流向。一般从输入端和信号源画起,由左至右或由上至下按信号的流向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。图形符号表示器件的项目或概念。电路图的中、大规模集成电路器件一般用方框表示,在方框中标出它的型号,在方框的两侧标出每根

线的功能名称和管脚号。图中除大规模器件外,其余元器件符号应当标准化。

(4)连接线应为直线,并且交叉和折弯应最少。通常连接可以水平或垂直布置,一般不画斜线。互相连通的交叉除用原点表示外,根据需要,可以在连接线上加注信号名或其他标记,表示其功能或去向。有的连线可用符号表示,例如器件的电源一般标电源电压的数值,地线用符号(—)表示。

1.3.6 电路安装与调试

设计电子系统的安装与调试大多在通用实验板或逻辑实验箱上进行,用来验证是否达到任务书中各项要求。若达到设计任务即可告一段落,可以进行样机研制阶段。若未达到,则须查找原因,从而决定返回以上哪个步骤重新进行,直到达到设计目的。

安装与调试过程按照先局部后整机的原则,把系统划分为若干个功能块,根据信号的流向逐块装调,使各功能块达到各自技术指标的要求,然后把它们连接起来进行统调和系统测试。在局部电路调试中,要注意各信号输入端的正确处理和恢复,一般不允许悬空,以便使调试工作顺利进行。

通常安装调试工作的第一步,就是根据实验板或实验箱为设计者提供的使用面积和各元器件体积大小,画出一张简单的装配图,以确定各元器件的实际位置,这对于后面的布线和调试工作是十分重要的。第二步就是把元器件按装配图指示的位置插入实验板或实验箱的面包板上,然后进行接线。在接线时,应首先连接各集成块的电源线和地线,然后插入外围电路各器件,最后完成各集成块之间的信号连线。忘记电源线和地线是初学者很容易出现的错误。在接线完成之后就可以进行第三步调试工作了。

在电路接通电源之前,对照原理图和布线图反复检查,尽量排除接线上的错误,特别是各集成块的电源线和地线的连接,因为这两条线一旦接反就会造成器件永久性损坏,所以在查线时要特别注意(查线可借助于万用表进行)。

检查接线确定无误后方可通电。通电后如果没有发现冒烟和集成块过热现象,就可以进行电路的调试,如检查电路能否正常复位,信号是否送到,电路的状态转换和输出是否正常等。如果所设计的是模拟系统,首先把输入端对地短路,检查各级静态工作点是否正确,输出信号是否为零,加入信号后各级输入与输出信号的对应关系是否正确等。

在调试过程中会遇到各种故障。模拟系统最常见的故障是系统自激,即把输入端对地短路,用示波器观察各功能块的输出端有幅度很大、频率很高的电压波形,这说明系统产生了自激振荡,如不采取措施,很快会导致组件过热而损坏。产生自激振荡的原因主要有3种:一是各组件(某些运算放大器、模拟乘法器等)的频率补偿端漏接补偿电容,或电容的容量不合适;二是由于布线不合理形成空间交叉耦合,如功放级与输入级在几何位置上靠得太近,或由于输入级与输出级同用一根电源线或地线等;第三种原因是各功能块工作电流都要流经电源内阻,内阻压降对于系统某一级形成正反馈,而电路又未采取去耦措施等。以上3种原因都可能引起系统自激。如是第一种原因产生的自激,可在外补偿端接入30 pF以下的电容,或在输出端和反相输入端之间接入1~10 pF的补偿电容;如是第二种原因产生的自激,要重新布线,使输出级在几何位置上远离输入级,输出级的电源线和地线最好从电源的输出端点上单独接线;如是第三种原因产生的自激,可采用去耦电路或加强电源滤波等方法加以解决,可用两级电容滤波,或电容、电感复合滤波等。

数字系统在安装调试中常见的故障有 3 种:接错线、漏接线和逻辑设计错误。排除方法可利用“故障点跟踪测试法”,即通过对某一预知特征点的观察,来确定电路工作是否正常,如发现该点的信号特征与预期结果不符,则向前一级查找,直到找到故障源。这种方法如能熟练地应用,可迅速找到故障点。

在应用以上方法时,要根据实际情况分别采用静态和动态测试法。例如,要测定电路的初始状态用静态测试法(电位法);如要了解电路状态转换情况,可用动态测试法(脉冲法)。最常见的布线错误是漏接线和接错线。漏接线的结果往往使输入端悬空,悬空点的电平将偏离正常的逻辑电平,如 TTL 电路的输入端悬空点的电平大约为 1.6 V,而正常的“0”电平在 0.2~0.4 V 之间,“1”电平在 2.4~3.5 V 之间。CMOS 电路的正常逻辑电平等于所用电源电压和地线电平。接错线有时会使器件输出端之间短路,两个具有相反电平的 TTL 电路输出端短路,输出电压大约为 0.6 V。对于这些特点的了解,将有利于故障点的查找。最常见的设计错误是对于某些输入端,设计者忘记了处理,从而造成浮空端子。对于 TTL 电路,这些端子相当接了逻辑 1 电平,而对于 CMOS 电路,由于输入阻抗非常高,所以很小的噪声都会引起输入电平在逻辑 1 和逻辑 0 之间漂移。如计数器不计数、寄存器不寄存信息等,常常是设计者对诸如清零端、置数端、使能端等输入端未加处理而引入噪声所致。此外,设计中常见的错误是对于竞争冒险考虑不周。这样的问题在调试过程中发现后,可根据具体情况选择不同的方法加以解决,例如,加滤波电容或重新修改逻辑设计等。

1.3.7 设计报告的撰写

在整个系统实验完成后,应整理出的设计文件包括:完整的电路原理图、详细的程序清单、所用元器件清单、功能与性能测试结果及使用说明书。技术报告的写作风格请参考 1.5 节内容。

1.4 电子系统设计抗干扰技术

1.4.1 干扰产生原因

在电子系统设计中,为了少走弯路和节省时间,应充分考虑并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措施。形成干扰的基本要素有 3 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: du/dt , di/dt 大的地方就是干扰源。例如: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。例如: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。

1.4.2 抑制干扰源措施

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的。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的。抑制干扰源的常用措施如下:

(1)继电器线圈增加续流二极管,消除断开线圈时产生的反电动势干扰。仅加续流二极管会使继电器的断开时间滞后,增加稳压二极管后继电器在单位时间内可动作更多的次数。

(2)在继电器接点两端并接火花抑制电路(一般是 RC 串联电路,电阻一般选几千欧到几十千欧,电容选 $0.01 \mu\text{F}$),减小电火花影响。

(3)给电机加滤波电路,注意电容、电感引线要尽量短。

(4)电路板上每个 IC 要并接一个 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$ 高频电容,以减小 IC 对电源的影响。注意高频电容的布线,连线应靠近电源端并尽量粗短,否则,等于增大了电容的等效串联电阻,会影响滤波效果。

(5)布线时避免 90° 折线,减少高频噪声发射。

(6)可控硅两端并接 RC 抑制电路,减小可控硅产生的噪声(这个噪声严重时可能会把可控硅击穿)。

1.4.3 切断干扰传播路径

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。切断干扰传播路径的常用措施如下:

(1)充分考虑电源对单片机的影响。电源做得好,整个电路的抗干扰就解决了一大半。许多单片机对电源噪声很敏感,要给单片机电源加滤波电路或稳压器,以减小电源噪声对单片机的干扰。比如,可以利用磁珠和电容组成 π 形滤波电路,当然条件要求不高时也可用 100Ω 电阻代替磁珠。

(2)如果单片机的 I/O 口用来控制电机等噪声器件,在 I/O 口与噪声源之间应加隔离(增加 π 形滤波电路)。控制电机等噪声器件,在 I/O 口与噪声源之间应加隔离(增加 π 形滤波电路)。

(3)注意晶振布线。晶振与单片机引脚尽量靠近,用地线把时钟区隔离起来,晶振外壳接地并固定。此措施可解决许多疑难问题。

(4)电路板合理分区,如强、弱信号,数字、模拟信号。尽可能把干扰源(如电机,继电器)与敏感元件(如单片机)远离。

(5)用地线把数字区与模拟区隔离,数字地与模拟地要分离,最后在一点接于电源地。A/D, D/A 芯片布线也以此为原则,厂家分配 A/D, D/A 芯片引脚排列时已考虑此要求。

(6)单片机和大功率器件的地线要单独接地,以减小相互干扰。大功率器件尽可能放在电路板边缘。

(7)在单片机 I/O 口,电源线、电路板连接线等关键地方使用抗干扰元件,如磁珠、磁环、电源滤波器、屏蔽罩,这样可显著提高电路的抗干扰性能。

1.4.4 提高敏感器件的抗干扰性能

提高敏感器件的抗干扰性能是指从敏感器件这方面考虑尽量减少对于干扰噪声的拾取,以及从不正常状态尽快恢复的方法。提高敏感器件抗干扰性能的常用措施如下:

- (1)布线时尽量减少回路环的面积,以降低感应噪声。
- (2)布线时,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。
- (3)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。
- (4)对单片机使用电源监控及看门狗电路,如 IMP809,IMP706,IMP813,X25043,X25045 等,可大幅度提高整个电路的抗干扰性能。
- (5)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。
- (6)IC 器件尽量直接焊在电路板上,少用 IC 座。

1.5 电子系统设计实例——液体点滴速度监控装置

下面用 2003 年全国大学生电子设计竞赛获得一等奖的一个作品来实践电子系统设计的全过程,并了解技术报告的写作风格。

液体点滴速度监控装置

上海交通大学 赵兆俞 怡炜 章鹤麟
赛前辅导教师 马伟敏等 文稿整理辅导教师 诸勤敏 袁焱

摘要:本设计完成对点滴液体的计数,通过反馈装置来控制水滴下落的速度。计数可以通过红外对管的感应产生脉冲来完成。而反馈以步进电机为动力装置,根据设定好的反馈算法来实现对水流速度的控制。为了将此系统更方便地用于实际生活,本装置扩展完成了主、从机之间的通信,以及主机对从机的控制。

一、初步方案的论证

首先本小组认为这个系统的实现有其现实价值。这一系统可以给医院的护士在管理病人点滴方面带来多种方便,因而系统中许多部分的设计应尽量体现方便、简单、实用。整个装置可以简单分为电路控制部分和机械传动部分。

1. 电路控制部分

以单片机为主体。由于整个系统对频率、资源方面没有很高要求,大众型的 C51 系列芯片已经可以满足。电路逻辑部分也比较简单,单片机可以帮助完成。无须 FPGA CPLD 等高端产品。

作为主要的电路部分,对液滴的计数问题可以有 2 种方案。一种是簧片振动,另一种是红外对管脉冲。此次设计采用了第二种方案。因为这种方案电路对只计脉冲数而言实现是非常简单的,而且受外界干扰也比较小。