

PSpice 专业电路设计系列

PSpice

电路设计与实现

李永平 董欣 主编 刘媛 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

PSpice 专业电路设计系列

PSpice 电路设计与实现

李永平 董欣 主编

刘媛 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

PSpice 9.2 是 MicroSim 公司开发的电子电路设计自动化系列软件之一,其方便快捷的输入方式、快速准确的解决方案等特点获得了电子行业的一致好评。本书分别从模拟电路和数字电路的设计以及 PSpice 的基本语法开始,根据电子电路设计中所需要解决的各种问题,介绍 PSpice 中基本分析语句的格式以及使用,结合 PSpice 9.2 以具体的实例介绍如何使用软件来完成各种电路的输入和不同分析方法的设置等问题,内容覆盖了包括基本有源放大电路设计和电子线路设计综合分析等各个方面,其中还讲述了 PSpice 9.2 使用时的一些简单技巧和基本常识。

全书的实例由简入繁,适合从事电路设计与开发的科研人员和工科电子专业师生循序渐进地阅读和学习。

图书在版编目(CIP)数据

PSpice 电路设计与实现/刘媛编著. —北京:国防工业出版社,2005.1

(PSpice 专业电路设计系列/李永平,董欣主编)

ISBN 7-118-03739-7

I . P . . . II . 刘 . . . III . 电子电路—计算机辅助设计—应用软件, PSpice IV . TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 000341 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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 471 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着电子计算机技术的发展,计算机辅助设计方法已经开始逐渐进驻电子设计的领域。模拟电路中的电路分析、数字电路中的逻辑模拟,甚至是印制电路板、集成电路版图等都开始采用计算机辅助工具来提高设计效率和设计成功率。而大规模集成电路的发展,使得原始的设计方法无论是从效率上还是从设计精度上已经无法适应当前电子工业的要求,所以采用计算机辅助设计来完成电路的设计已经势在必行。同时,微机以及适合于微机系统的电子设计自动化软件的迅速发展,使得计算机辅助设计技术逐渐成为提高电子线路设计速度和质量所不可缺少的重要工具。

随着计算机技术的飞速发展和大规模集成电路的广泛应用,电子电路的计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD)技术,已经成为电子电路分析设计中不可或缺的有力工具。以集成电路 CAD 为基础的电子设计自动化(Electronic Design Automation,简称 EDA)已经成为电子学领域中的重要学科,并形成了一个独立的产业部门。当前有近 50%以上的集成电路是靠 CAD 和 EDA 工具完成的,而且这个比例还在不断增长。

电子电路基本上分为数字电路和模拟电路两大部分,数字电路是进行数字逻辑分析的电路,而模拟电路是对模拟信号进行分析。在电子电路的分析设计中有多种方法,采用 PSpice 分析设计以及仿真是一种比较好的方法,因为 PSpice 具有良好的仿真功能。PSpice 是电子设计中用来分析电路的工具之一,它不仅可以计算模拟电路的直流工作点、增益、频率特性等,还可以仿真数字电路的逻辑功能,更为突出的是它还拥有傅里叶分析、蒙特卡罗分析、最坏情况分析等特殊功能,从而使电路设计完全可以在计算机上完成。本书以 PSpice 9.2 为例讲述电子电路的分析设计过程,结合实例进行描述。

最早的 PSpice 是在 SPIGE2G 的基础上于 1984 年推出的,目前广泛使用的 PSpice 是由 MicroSim 公司推出的,它不仅具有 Spice 原有的功能,在输入输出图形处理、算法的可靠性和收敛性、仿真速度、模拟功能扩展以及模型参数库和宏模型库等方面都有所改善和扩充。

本书主要分为 4 部分,第 1 部分是基础知识部分,包括第 1 章到第 3 章,主要讲述电子电路的基本知识和基本的设计方法。这一部分从最基本的知识出发,目的是使原来电子电路基础比较薄弱的读者也能比较容易较快地掌握电子电路设计的一些基本常识,对电子电路设计能够容易上手。其中,第 1 章介绍数字电路和模拟电路的基本知识、PSpice 技术和特点,包括公司及其软件的起源、发展情况;第 2 章介绍数字电路基础,包括数字电路的基本常识以及数字电路设计的内容;第 3 章主要介绍模拟电路的基本常识和模拟电路的设计内容。第 2 部分简单介绍数字电路的设计描述语句 VHDL,包括第 4 章和第 5 章。其中,第 4 章介绍数字电路设计工具 VHDL 的基本功能和一些基本技巧;第 5

章主要介绍 VHDL 的仿真工具 MAX PlusII 的基本常识和一些技巧,并结合实例描述。第 3 部分是 PSpice 基本操作技巧,主要包含第 6 章和第 7 章,其中,第 6 章主要介绍 PSpice 的基本功能,主要讲述简单的绘制电路图过程;第 7 章是 PSpice 的高级描述部分,讲述了电路仿真的基本技巧。第 4 部分是 PSpice 用于电子电路设计的描述部分,包括第 8 章到第 10 章。其中,第 8 章主要介绍基本有源放大电路设计的描述和分析;第 9 章主要讲述了电子线路设计综合分析的描述和分析;第 10 章介绍电力电子电路的设计与 PSpice 仿真模拟。

本书的特点是将具体讲述与实例结合起来,提出需要解决的问题,然后通过一步一步的讲解演示,最后解决问题,并给出仿真结果和分析。读者通过对本书的学习,可以熟练应用 PSpice 9.2 来进行电子电路分析设计的程度。

另外,本书电路图均采用 PSpice 软件来绘制,基于软件本身的限制,其电子元器件的名称表示格式与国标规定有区别。如名称 R_1 、 R_2 、 V_{CC} 、 V_{DD} 等的国标表示应为 R_1 、 R_2 、 V_{CC} 、 V_{DD} ,电阻值 1k 的国标表示应为 $1k\Omega$,电容值 1 μ F 的国标表示应为 1 μ F。但为了表述清楚,书中公式皆按国标表示,在此特别说明,请读者阅读时加以注意。

本书编写由于时间仓促,难免有疏漏之处,希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 基本知识简介	1
1.1 数字电路	1
1.1.1 数字电路的基本功能	1
1.1.2 数字电路的特点	2
1.1.3 数字电路的基本逻辑关系	2
1.1.4 数字电路与逻辑设计的基本方法	3
1.1.5 数字信号和数字电路	3
1.1.6 电子系统设计	4
1.2 模拟电路	6
1.2.1 基本概念	6
1.2.2 模拟信号和数字信号	7
1.2.3 放大电路的基本知识	8
1.2.4 放大电路模型	9
1.3 PSpice 技术的引入	12
1.3.1 EDA 技术	12
1.3.2 EDA 第三阶段的特征	12
1.3.3 PSpice 的历史	13
第 2 章 PSpice 简介	14
2.1 打开新的电路图	14
2.2 绘制电路	17
2.2.1 绘图页的调整	17
2.2.2 放置电路元件	19
2.2.3 放置电源元件	25
2.2.4 改变元件序号与元件值	27
2.2.5 元件间连线	29
2.2.6 节点的放置	30
2.2.7 关于存档	30
2.2.8 打印	30
2.2.9 将绘图页电路存成图形文档	32

2.3 绘制差分放大电路	33
2.3.1 寻找元件	33
2.3.2 放置元件	35
2.3.3 进行连线	36
2.3.4 设置编号	36
第3章 PSpice 的高级功能	38
3.1 分析晶体管特性	38
3.1.1 绘制电路图	38
3.1.2 设置元件参数	38
3.1.3 设置 PSpice 仿真参数	39
3.1.4 存档并运行 PSpice	41
3.1.5 执行 PSpice 程序	41
3.1.6 查看输出文本	43
3.1.7 交流设置	43
3.2 分析瞬态电路	46
3.2.1 绘制电路图	46
3.2.2 设置元件参数	47
3.2.3 设置 PSpice 仿真参数	48
3.2.4 存档并运行 PSpice	48
3.2.5 执行 PSpice 程序	49
3.3 复杂 PSpice 设置	50
3.3.1 绘制电路图	50
3.3.2 设置元件参数	51
3.3.3 设置 PSpice 仿真参数	52
3.3.4 存档并运行 PSpice	52
3.3.5 执行 PSpice 程序	52
3.3.6 设置 Probe 探针	57
第4章 PSpice 基本仿真分析	61
4.1 直流工作点分析	61
4.1.1 绘制电路图	61
4.1.2 设置直流工作点分析参数	61
4.1.3 保存文档	63
4.1.4 仿真并观察结果	63
4.2 直流扫描分析	65
4.2.1 绘制电路图	65
4.2.2 设置直流扫描分析参数	65
4.2.3 存档并启动 PSpice	66
4.2.4 观察与分析输出波形	67
4.2.5 打印输出波形	68

4.2.6	查看输出文档内容	69
4.3	交流扫描分析	69
4.3.1	绘制电路图	70
4.3.2	设置交流扫描分析参数	70
4.3.3	存档并启动 PSpice 仿真	71
4.3.4	观察并分析仿真波形	72
4.3.5	查看输出文档内容	73
4.4	PSpice 仿真分析的应用实例	73
4.4.1	绘制电路图	74
4.4.2	分析静态工作点	74
4.4.3	观察输出结果, 计算放大倍数	76
4.4.4	分析电路频率特性	79
第 5 章	电子电路的设计	80
5.1	指定设计方案	80
5.1.1	选择总体方案	80
5.1.2	设计单元电路	81
5.1.3	参数计算	81
5.1.4	选择元器件	81
5.1.5	绘总体电路图	83
5.1.6	电路的组装与调试	84
5.1.7	设计报告的撰写	85
5.2	基本放大电路的设计	86
5.2.1	双极型晶体管单管放大电路的设计	86
5.2.2	场效应管单管放大电路的设计	97
5.2.3	具有恒流源的差分放大电路的设计	100
5.3	负反馈放大电路的设计	104
5.4	功率放大电路设计	106
5.4.1	由功放管构成的乙类推挽功率放大电路的一般考虑	106
5.4.2	集成功率放大器	107
5.5	RC 有源滤波器的设计	109
5.5.1	有源滤波器设计的一般考虑	109
5.5.2	滤波器的传输函数与性能参数	110
5.5.3	滤波器的快速设计方法	111
5.5.4	设计举例	114
第 6 章	模拟与数模混合电路分析	118
6.1	接口子电路	118
6.2	电源	119
6.3	电路实例	121
6.3.1	新建电路	121

6.3.2	修改电路	124
6.4	放大电路	126
6.4.1	放大器的用途和分类	126
6.4.2	放大器主要性能指标	126
6.4.3	基本放大器	128
6.4.4	晶体管放大器偏置电路	130
6.4.5	放大器的 3 种组态	130
6.5	差动放大电路	134
6.5.1	直流分析	134
6.5.2	单端输出的差动放大电路	136
6.5.3	具有恒流源的差动放大器	137
6.5.4	共集—共基差动放大电路	137
6.6	运算放大器的应用	139
6.6.1	运放的工作状态	139
6.6.2	饱和工作状态	139
6.6.3	应用电路	139
6.7	运算放大器应用电路的 PSpice 分析	150
6.7.1	电压比较器	150
6.7.2	施密特触发器	156
第 7 章	数字电路分析	160
7.1	数字电路中的基本单元	161
7.1.1	CMOS 反向器	161
7.1.2	非门与与非门	164
7.2	PSpice 中的数字电路元器件	165
7.2.1	基本数字元器件	166
7.2.2	数字电路分析基本概念	168
7.2.3	译码器	169
7.3	加法器	173
7.3.1	半法器	173
7.3.2	全加器	175
7.3.3	串行加法器	177
7.3.4	并行加法器	180
7.4	时序电路	182
7.4.1	基本触发器	182
7.4.2	计数器	184
7.5	数字电路最坏情况分析	186
7.5.1	基本概念	186
7.5.2	延迟时序模糊	187
7.5.3	输出结果的不定状态分析	189

7.5.4	脉宽变窄状态	192
第 8 章	电子线路测量技术	195
8.1	电子测量的基本知识	195
8.1.1	电子测量的方法	195
8.1.2	测量误差的基本知识	198
8.1.3	测量数据的处理	199
8.2	电路基本元器件参数的测量	201
8.2.1	电阻的测量	201
8.2.2	电容的测量	204
8.2.3	电感的测量	206
8.2.4	二极管的测量	209
8.2.5	三极管的测量	211
8.2.6	场效应管主要参数的测量	212
8.3	电压和电流的测量	213
8.3.1	电流电压的测量	213
8.3.2	交流电压的测量	216
8.3.3	分贝测量法	219
8.3.4	直流电流的测量	221
8.3.5	交流电流的测量	222
8.4	信号波形参数的测量	223
8.4.1	时间的测量	223
8.4.2	频率的测量	226
8.4.3	相位的测量	227
第 9 章	PSpice 电路仿真分析	230
9.1	组合逻辑电路概念	230
9.2	组合逻辑电路仿真	234
9.2.1	绘制电路图	235
9.2.2	设置参数	237
9.2.3	存档并执行 PSpice 仿真	238
9.2.4	观察并分析仿真波形	238
9.3	时序逻辑电路仿真	239
9.3.1	绘制电路图	240
9.3.2	设置参数	243
9.3.3	存档并启动 PSpice 仿真	244
9.3.4	观察与分析波形	244
9.4	数字模拟混合电路仿真	246
9.4.1	绘制电路图	246
9.4.2	设置参数	247
9.4.3	存档并执行 PSpice 仿真	248

9.4.4 观察与分析仿真波形	248
第 10 章 基本有源放大电路设计	251
10.1 共射极放大电路的设计	251
10.1.1 建立新文件	251
10.1.2 绘出电路图	251
10.1.3 电路仿真	254
10.2 共集电极放大电路单元	257
10.2.1 建立新文件	257
10.2.2 绘出电路图	257
10.2.3 电路仿真	258
10.3 电压源电路	263
10.3.1 建立新文件	263
10.3.2 绘出电路图	263
10.3.3 电路仿真	265
第 11 章 电子线路设计综合分析	268
11.1 差分放大器	268
11.1.1 建立新文件	268
11.1.2 绘出电路图	268
11.1.3 电路仿真	270
11.2 积分电路	276
11.2.1 建立新文件	276
11.2.2 绘出电路图	276
11.2.3 电路仿真	278
11.3 微分电路	281
11.3.1 建立新文件	281
11.3.2 绘出电路图	281
11.3.3 电路仿真	283
11.3.4 电路修改并仿真	286
11.4 计数器电路的设计	292
11.4.1 绘制计数器电路	292
11.4.2 电路仿真	294
第 12 章 电力电子电路设计	296
12.1 半波整流电路的设计	296
12.1.1 基本半波整流电路	296
12.1.2 半波整流电容滤波电路	298
12.2 全波整流电路的设计	299
12.3 三相整流电路的设计	301
12.3.1 星形接法三相整流电路	301
12.3.2 三角形接法三相交流电路	306

12.4 触发器的设计	311
12.4.1 施密特触发器的设计	311
12.4.2 单稳态触发器的设计	317

第 1 章

基本知识简介

在整个电子电路中, 主要包括数字电路和模拟电路两大部分, 这两者的设计思想与各自的电路结构紧密结合, 各有各自的特点。在具体设计过程中, 可以将设计好的电路用 PSpice 来仿真测试, 也可以在 PSpice 上直接设计, 以达到最终目的。

1.1 数 字 电 路

1.1.1 数字电路的基本功能

数字电路与数字电子技术广泛地应用于电视、雷达、通信、电子计算机、自动控制、航天等科学技术领域。电子电路的工作信号可分为模拟信号和数字信号两大类。

模拟信号在时间上和数值上的变化是连续的。而数字信号是指在时间上和数值上都是离散的。信号的变化只发生在一系列离散的瞬间, 并且信号的数值是一些离散的电平值(高电平或低电平)。数字信号是用一系列离散的数量来表示某个实际变化的过程。

用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路, 或数字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能, 所以又称数字逻辑电路。数字逻辑电路按功能大致可以分为两类。

1. 组合逻辑电路

简称组合电路, 它是由最基本的逻辑门电路组合而成。组合电路的特点是: 输出值只与当时的输入值有关, 即输出惟一地由当时的输入值决定。电路没有记忆功能, 输出状态随着输入状态的变化而变化。它类似于电阻性电路。

如课程中所要介绍的加法器、译码器、编码器、数据选择器等都是用最基本的逻辑门按一定的逻辑功能组合而成的电路。组合电路的基本组成单元是各种基本逻辑门。

2. 时序逻辑电路

简称时序电路, 它是由最基本的逻辑门电路加上反馈逻辑回路(输出到输入)或器件组合而成的电路, 与组合电路最本质的区别在于时序电路具有记忆功能。电路的特点是: 输出不仅取决于当时的输入值, 而且还与电路过去的状态有关。它类似于含储能元件的电感或电容的电路。

其中触发器、锁存器、计数器、移位寄存器、寄存器等电路，都是时序电路的典型器件，这些电路的变化以及一些功能的实现与时钟脉冲相连。时序电路是由最基本的触发器电路和组合电路所构成的。

近年来，随着半导体技术和材料科学领域各种相关技术的飞速发展，以及集成电路制造工艺日新月异的进步，数字电路已经成为现代电子技术的极其重要的组成部分。与数字电路相关的应用技术如电子计算机、数字仪器、数字通信、数控装置、雷达、电视等也迅猛发展起来。现代科学技术的发展不仅推动了计算机的普及和应用，而且还带动了其他领域电子技术的腾飞，所以了解数字电路的功能和应用以便能进行合理的选择，正确的运用，是数字时代技术人员所应该具有的基本素质。

1.1.2 数字电路的特点

数字电路之所以能得到越来越广泛的应用，是和它具有的特点分不开的。

1. 同时具有算术运算和逻辑功能

数字电路是以二进制逻辑代数为基础，使用二进制数字信号，既能进行算术运算又能方便地进行逻辑运算（与、或、非、判断、比较、处理等），因此极其适合于运算、比较、存储、传输、控制、决策等应用。相比之下，如果采用模拟系统完成同样的功能，从数学运算到电路实现所需要的设备较数字系统相比要复杂得多。

2. 实现简单，系统可靠

以二进制作为基础的数字逻辑电路，简单可靠，准确性高。因为在数字系统中，信号只有两个基本的离散量——“0”和“1”。对应逻辑代数二进制数的“0”和“1”状态，“0”和“1”可以表示任何事物的两个对立面（有、无，高、低，是、否，好、坏等）。再用这两个最基本的状态组合，可以表达客观事物间的任何复杂关系，并能进行推理、运算。在物理电路中，它们对应着半导体二极管、三极管电子元件的导通和截止这两个不同的开关状态，所以，工作速度快，抗干扰能力强，在传递、加工和处理信息时不易出错，增加了系统的可靠性和准确性。

3. 集成度高，实现容易

集成度高，体积小，功耗低是数字电路突出的优点之一。电路的设计、维修、维护灵活方便，随着集成电路技术的高速发展，数字逻辑电路的集成度越来越高，集成电路块的功能随着小规模集成电路（SSI）、中规模集成电路（MSI）、大规模集成电路（LSI）、超大规模集成电路（VLSI）的发展，也从元件级、器件级、部件级、板卡级上升到系统级。电路的设计组成只需采用一些标准的集成电路块单元联接而成。对于非标准的特殊电路还可以使用可编程逻辑阵列电路，通过编程的方法实现任意的逻辑功能。

1.1.3 数字电路的基本逻辑关系

数字电路的数学描述以逻辑代数为基础，基本逻辑门电路实现了逻辑代数的基本运算功能（与、或、非），基本逻辑门按基本逻辑代数的运算规律又分别构成了标准应用电路，编码器、译码器、全加器、比较器和数据选择器等组合电路。

另一分支为：基本逻辑门电路按照逻辑代数规则构成基本触发器电路，由触发器作为基本电路构成了寄存器、计数器、存储器、脉冲发生器等另一类时序电路。

1.1.4 数字电路与逻辑设计的基本方法

数字逻辑电路的理论基础是逻辑代数,逻辑代数最大的特点是二值代数,使用逻辑代数的二值变量和二值函数的概念,研究、分析和设计数字电路输入和输出之间的逻辑关系。对于一个给定的逻辑电路,研究它的逻辑功能,也就是对已知的逻辑电路,找出它的逻辑功能,并用逻辑函数来描述的工作,称为逻辑分析。根据给定的逻辑要求,先确定要完成的逻辑功能,再求出相应的逻辑电路,称为逻辑设计。逻辑分析和逻辑设计是互逆的。

研究数字逻辑电路,首先要理解和掌握逻辑代数的基本运算规则。在此基础上学会和掌握实用的分析和设计方法,培养具有处理实际电路问题的能力。

由于集成电路的高速发展,数字逻辑电路的设计已经标准化、模块化和系统化,因此在掌握逻辑代数的基本运算规则和分析设计方法的基础上,就可以选用成熟的已有基本模块来构成电路,寻求最好的设计,以满足全面的性能指标。经典的开关理论和最小化设计思想,仍然是分析和设计逻辑电路的基础,对于逻辑设计仍然具有十分重要的指导意义。

1.1.5 数字信号和数字电路

人们在现实生活中遇到的许多物理量,如温度、压力、距离、时间等,一般都具有连续变化的特点。它们可以在一定范围内取任意实数值,称这类物理量为模拟量。在工程应用中,为了测量、传递和处理这些物理量,常把它们通过传感器转换成与之成比例的电压(或电流)。这些电信号表示和模拟了实际的物理量,故称之为模拟信号,其电压值(或电流值)在一定范围内是连续的变量。模拟信号所传送的内容称为模拟信息。数字量是离散的,只能按有限个或可数的量化单位(又称为增量、量化层)取值。例如,某一实际距离值为 $13468.9432326\cdots\text{km}$ 。若取量化单位为 1km ,则代表此距离的数字量为 13468km ;若取量化单位为 1m ,则数字量为 13468943m 。量化单位的选择取决于所要求的精度。与数字量相对应的电信号为数字信号。数字信号所传送的内容称为数字信息,处理数字信号的电路称为数字电路。

在进行信息传递和处理时,数字方式和模拟方式相比有下述优点。

1. 精度和可靠性高

同一物理量可以用连续的模拟信号表示,也可以用离散的数字信号表示。用数字信号进行信息传送和处理,容易达到高精度和高可靠性。例如,当温度信息用模拟信号传送时,模拟信号的电压值正比于温度值。若要求精度为千分之一,则必须要求传送途径上的干扰电压低于所传送信号的电压的千分之一。在干扰严重的地方,这样的要求往往难以实现。若利用数字信号传送就容易达到这一精度要求。数字信号传输时,常采用二进制,也就是把所传送的数字量按照一定的规则编成一组脉冲序列。数字量的精度取决于量化单位的大小,进而决定了二进制数码的位数,即每组脉冲序列所能容纳的脉冲个数。数字量的大小取决于每组脉冲序列中各个脉冲的有无。只有当传送途中遇到相当大的干扰时,才能改变信号中脉冲的有无,破坏信息的内容。因而,采用数字信号有较强的抗干扰能力,容易达到较高的精度。

2. 使用灵活, 易于器件标准化

随着半导体工艺的发展, 数字电路器件的体积越来越小, 集成度越来越高。今天, 可以在一块硅片上制造几千个、几万个甚至几千万个元件, 并可制造单片和数字计算机、单片的信号处理器等功能很强的标准化的通用器件, 也可以由使用者定制专用的芯片。这些器件的出现, 使得数字系统的体积小、重量轻、耗电省, 并且提高了工作的可靠性。目前, 数字电路广泛应用在军事、工业、商业、企业管理、交通运输、医疗保健和文化教育等各个领域, 同时已进入到人们的日常生活中。

顺便指出, 脉冲电路先于数字电路出现, 数字电路在脉冲电路的发展分化出来, 并逐步成为独立的体系。脉冲电路和数字电路的研究方法有很大的差异。严格讲, 脉冲电路应属于模拟电路的范畴, 但脉冲电路和数字电路有紧密的联系。本书以数字电路为主, 先介绍数字电路, 最后再讨论脉冲电路。脉冲数字技术是一种实用技术, 学习时应紧密结合实际。一个最佳的电路设计, 要求电气性能好, 还要考虑经济、可靠、便于实现。

1.1.6 电子系统设计

进入 21 世纪, 现代社会将进入电子与信息时代。大到全球各大洲, 小到每个家庭, 无不与电子和信息产业相关, 这就要求即将工作于电子和信息的学生学会并掌握电子系统的设计与开发的方法。

总体来说, 一个电子系统一般包括模拟系统——传感、高低频放大、模/数转换、数/模转换以及执行机构等; 数字系统——信息处理、决策、控制。但是, 对于软硬结合的电子系统而言, 它的信息处理、决策与控制部分大部分可由含有 CPU 的微处理机(如单片机)的电子系统来实现。所以从组成来讲, 一般可以把电子系统看成由 3 部分组成: 模拟子系统、数字子系统与微处理机子系统。之所以把以上 3 个部分称为 3 个子系统, 是因为这些部分一般已不是 1 块~2 块简单模块电路可以实现的, 它们本身也构成了一个有特定功能、相对完整的电路系统。实现电子系统的器件比较广泛, 基本上包括了大部分电子器件, 它们是中大规模或超大规模集成电路、专用集成电路、可编程器件以及不可缺少的少量分立元件和机电元件。

从电子系统的类型来讲, 电子系统又可分为智能型与非智能型两种。顾名思义, 非智能型电子系统应该是那些功能简单或功能固定的电子系统, 例如: 简单的巡回检测报警系统等, 但是, 对于智能型电子系统, 至今还没有一个简单明确的权威论述。虽然如此, 我们仍可参照人类活动规律, 找出智能型所应具有的特点, 从而得出必要的结论。智能型的第一个特点是必须有记忆力, 如果没有记忆力则根本不可能由此及彼地全面地进行分析; 第二个特点是具有学习能力和便于学习各种知识, 而且这些知识可运用于实践; 第三个特点是易于接收信息和命令; 第四个特点是具有分析、判断和决策能力; 最后一个特点是可以控制或执行所作的决定。对照以上特点, 显然纯硬件的电子系统不可能被划在智能型范围内。它的最大弱点是硬件与功能是一一对应的, 增加一个功能必须增加一组硬件, 改变功能必须改变电路结构。所以纯硬件结构不具有便于学习的能力, 因此它不具有智能型的特点。只有由带有 CPU 的微机(单片机)配以必要的外围电路从而构成软硬结合的电子系统才具有智能型的特点。首先, 它有存储单元及输入/输出接口, 可以接收并记忆信息、数据、命令以及输出并控制决策的执行。其次, 它善于并且便于

学习, 只要将合适的软件装入系统, 人们不必改动系统结构就可使它具有某种新功能。有了记忆能力, 它就可以进行必需的分析、判断, 完成一些决策, 从而具有智能型的特点。因此把以微机(单片机)为核心组成的软硬结合的电子系统称为智能型电子系统。

根据电子系统的不同功能, 设计它们的电子电路的要求也不同, 从而衡量这些系统的指标也是不同的。衡量电子系统的指标可能有功能、工作范围、容量、精度、灵敏度、稳定性、可靠性、响应速度和使用场合、工作环境、供电方式、功耗、体积重量等。对不同系统而言, 系统指标要求不同, 例如航天器中的轨道控制系统的动态工作范围、精度、响应速度、可靠性、体积重量、功耗、工作环境等则必须重点考虑; 通信系统则重视容量、灵敏度、稳定性、使用场合等; 家电系统则主要考虑功能、稳定性、可靠性、成本及价格等, 而对供电方式、精度、响应速度等指标不作过多考虑。系统设计人员应根据系统类型、功能要求和指标要求, 细化出每个设计的子系统的技术指标以便进行设计。在细化过程中必须注意尽量符合国家标准或部颁标准, 有可能时还应符合国际标准, 以便产品走向世界。在细化中应该注意系统的档次定位、技术含量恰当、符合发展潮流、性能价格比高, 以满足市场需求。

根据待设计的电子系统的特点以及使用的技术层次, 可将电子系统设计分成新系统开发设计、新产品开发型设计和新技术应用型开发设计 3 个部分。根据以上介绍的电子系统功能、应用范围以及设计类型可知, 电子系统设计牵涉的范围非常广, 而且涉及的技术层次也大不相同。

在大多数情况下, 电子系统的设计方法采用自上而下 Top-down 的设计方法。设计人员根据用户要求进行设计。用户要求一般表示为无二义性的自然语言描述、硬件描述语言以及系统的总体技术批准标等, 以系统设计要求和系统说明书方式提供。

设计人员首先根据对设计要求的理解及系统可能的工作方式、结构等知识构成系统总体方框图。在构成总体方框图时应不断地消化并理解用户要求, 必要时与用户磋商讨论, 进一步明确一些可能存在的不明确的地方, 补充确定一些设计要求中未曾列出的必要的技术要求、指标等。

总体方框图由若干个方框构成, 每一个方框都是一个功能相对单一的子系统, 例如: 存储器系统, 数据处理系统, 输入/输出系统等。同时, 根据设计要求及指标规定每个子系统的性能指标, 类似于把用户要求层次概括为功能级, 可以把带有技术指标要求的系统总体方框图概括为处理器级。然后、设计人员应对总体方框图中的每一个方框(子系统)的结构进行分析及设计。根据它在系统中的功能及指标构成该方框的详细方框图, 要使详细方框图中的每一个小方框都落实到通用中大规模集成电路层次, 同时规定一些关键器件的指标以保证该子系统的性能指标的实现。

如果还希望进一步提高结果的档次, 例如用可编程器件实现部分电路或者直接设计成专用集成电路(ASIC)。在获得了寄存器级方框图后, 设计人员应该用寄存器描述语言(当前通用 VHDL 语言)或软件规定的语言, 对寄存器级方框图进行描述, 经过编译、仿真等操作后生成可编程器件或专用集成电路的版图供集成电路厂家去生产专用集成电路。

应该说明的是, 以上的系统设计过程实际上主要是数字子系统硬件的设计过程。一个智能型电子系统应包括有软、硬件两部分, 同时还应有模拟子系统部分。对于一个智