



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程“电子线路设计与测试”主教材



电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电子线路

设计·实验·测试 (第4版)

罗杰 谢自美 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程“电子线路设计与测试”主教材
电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电子线路设计·实验·测试

(第4版)

罗杰 谢自美 主编

赵云娣 杨小献 曾喻江 龚军 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,国家精品课程“电子线路设计与测试”主教材。

本书第1版1996年获第三届全国工科电子类专业优秀教材一等奖;第2版为“九五”国家级重点教材,2002年获全国普通高等学校优秀教材二等奖;第3版为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本书是在第3版的基础上修订而成的,书中提供了大量基本实验电路和大量的应用设计课题,全书分为六篇共12章。第一篇(第1~2章)为电子线路实验基础知识,内容为电子线路设计、调试、测量误差分析与数据处理技术。第二篇(第3~5章)为低频电子线路实验,内容包括用pSpice软件仿真电子线路、低频电路基础实验和应用电路设计,既介绍了软件仿真技术,又介绍了以定量估算和电路实验为基础的电子线路的传统设计方法与测试技术。第三篇(第6~7章)为数字电路与逻辑设计实验,介绍了传统的硬件电路基础实验与应用电路设计方法,以便学生能够较熟练地选用数字集成电路进行应用设计。第四篇(第8~9章)为Verilog HDL与可编程逻辑器件实验,介绍了Verilog HDL的建模方法和典型可编程逻辑器件的内部结构与应用开发,以便学生能够用硬件描述语言设计数字逻辑电路,并用大规模可编程逻辑器件实现设计的电路,为今后从事专用集成电路设计打下一定的基础。第五篇(第10~11章)为高频电子线路设计性实验,首先介绍了高频电路的特点、元器件的选用与安装测量技术,接着介绍了典型单元电路的设计方法,最后过渡到高频小型电子系统的设计,以逐步培养和提高学生进行高频电子线路的设计能力。第六篇(第12章)为5个综合设计性实验课题,以培养学生进行电子设计知识综合运用能力。

本书可作为高等学校电工、电子信息类相关专业电子技术与电子线路实验课教材、课程设计教材,亦可供全国大学生电子设计竞赛的学生和从事电子设计工作的工程技术人员参考。

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

电子线路设计·实验·测试/罗杰,谢自美主编.—4版.—北京:电子工业出版社,2008.4

(电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程)

ISBN 978-7-121-05697-0

I. 电… II. ①罗…②谢… III. 电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第199778号

责任编辑:韩同平 特约编辑:刘汝辉

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
装 订:

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:787×1092 1/16 印张:27.25 字数:705千字

印 次:2008年4月第1次印刷

印 数:5000册 定价:39.80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。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

第 4 版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，国家精品课程“电子线路设计与测试”主教材。

本书第 1 版 1996 年获第三届全国工科电子类专业优秀教材一等奖；第 2 版为“九五”国家级重点教材，2002 年获全国普通高等学校优秀教材二等奖；第 3 版为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

“电子线路设计·实验·测试”是电工、电子信息类相关专业的重要实践课程。由华中科技大学谢自美教授主持、本书作者等老师参与共同建设的“电子线路设计与测试”课程于 2005 年被评为国家精品课程（网址：<http://www.hust.edu.cn/>，单击右下角“精品课程”进入）。为了及时反映电子技术领域的新技术、新方法和华中科技大学该课程教学改革的新成果，对第 3 版教材进行了修订。

这次修订的基本思路是：精选内容，推陈出新；重视实验基本技能的教学，加强设计性教学环节，从单元电路设计入手，逐步过渡到综合电路的设计，可克服学生开始进行电路设计时的畏难情绪，激发他们主动实践的学习兴趣，从而逐步提高学生的实际动手能力、理论联系实际的能力、工程设计能力与创新设计能力。

这次的调整和修改主要有以下几点：

(1) 对教材的编写体系进行了较大的调整。按照“实验基础知识→模拟电子线路实验→数字电路与逻辑设计实验→Verilog HDL 与可编程逻辑器件实验→高频电子线路设计实验→综合设计性实验”的体系结构编写。每一部分实验内容的安排都是先易后难，从基础实验开始，然后安排若干典型的应用电路设计。特别是起步阶段的实验难度有所降低，指导性内容有所加强，以利于学生自学，并快速入门。

(2) 增加了“电子线路设计与调试技术”一章，以便学生对电子线路设计的一般方法和电路的组装与调试技术有一个基本了解。

(3) 在基础性实验部分，加强了测试方法的介绍，使学生能够由浅入深地逐步掌握各种电路性能指标的测试方法。同时也安排了若干 EDA 技术（PSpice 仿真、FPGA 设计）方面的实验，以便学生能够掌握现代电子设计的新工具和新方法。

(4) 在应用电路设计部分，选择具有一定实用性和趣味性的实验课题，以激发学生的学习兴趣 and 主动进行实验的热情。

(5) 在综合设计性实验部分，增加了几个综合性实验课题，如数字化语音存储与存储与音频采集回放系统设计、基于 FPGA 的出租车计费器设计、LCD 字符显示及应用电路设计等。这些设计需要用到模拟电路、数字电路、EDA 技术和单片机等知识，需要将硬件与软件相结合才能完成并实现设计要求，可以作为课程设计的课题，将有利于学生拓宽知识面，提高综合性应用电路设计的能力。

本书可以作为电子线路实验独立设课的教材或课程设计的教材。也可与康华光主编的《电子技术基础》（第 5 版）、张肃文主编的《高频电子线路》（第 3 版）教材配套使用。

作为电子线路实验独立设课教材时，适用于安排 2 个学期的教学，第 1 学期进行模拟

电路的设计与调试,第2学期进行数字逻辑电路(包括HDL和FPGA)和高频电路的设计与调试,其教学计划可参考附录B.1(实验内容一般略滞后理论课,也可根据学校的条件选择实验内容)。

作为课程设计教材,可选择较大的电路系统或综合性设计课题进行教学。建议采用开放式实验教学模式,每次将一学期的实验元器件和实验面包板发给学生自己保管,将必做实验内容和选做实验内容相结合,安排一定的课内学时以利于教师指导和对实验项目的验收,同时开放实验室,让学生通过网上实验预约系统预约实验时间,自主进行实验,激发学生的学习热情与兴趣。

实验课的考试方式可采用以实践为主的考试方式,即在规定的时间内,现场完成电路的设计与装调,回答问题。附录B.3是“电子线路设计与测试”课程的模拟测试题。该课程的成绩评定由两部分组成,即平时成绩(包括电路设计、安装调试与实验报告)占40%,期末现场考试(包括电路设计、调试与回答问题)占60%。

以上教学方法已被多所学校采用,实践表明,这种教学方法是行之有效的,对于培养和提高学生工程实践与设计能力具有明显效果。

参加第4版编写工作的有谢自美、罗杰、赵云娣、杨小猷、曾喻江、龚军。谢自美、罗杰编写第1、2、4~9章、12.1节和附录B~E;谢自美、赵云娣编写第10、11章和附录A;杨小猷编写第3章和12.3节;曾喻江编写12.2节;龚军编写12.4节。罗杰和谢自美共同担任本书主编,负责全书的统稿与定稿工作。

本书第4版得到了华中科技大学教务处及电子与信息工程系的关怀和大力支持。国家精品课程“电子线路设计与测试”课程组的各位老师十分关心本次修订工作,给予了热情支持并提出了许多修改意见。在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

感谢读者多年来对本书的关心与支持。本书的实践性很强,我们尽量为读者提供有一定参考价值的电路图与实验参数。为此,我们做了大量实验研究工作。在使用本书时,如果因实验条件不同,出现实验参数有些偏差,这是正常现象。如果差距很大,或者发现电路图中有错误,恳请读者给予批评指正。

您可以通过 Luojiiewh@gmail.com 给作者发送邮件,我们会阅读所有的来信,并尽可能及时回复。

编 者

2008年2月于华中科技大学

本书中的文字符号说明

低 频 电 路

A	运算放大器	I_D	漏极电流	R_o	交流输出电阻
A_F	反馈放大器的 放大倍数	I_{DSS}	场效应管饱和电流	R_{od}	差模输出电阻
A_V	电压放大倍数	I_{IO}	输入失调电流	RP	电位器(可变电阻)
A_{VC}	共模电压放大倍数	I_{OS}	输出短路电流	R_S	信号源内阻
A_{VD}	差模电压放大倍数	I_{REF}	基准电流	S_R	转换速率
A_{VO}	开环电压放大倍数	J_T	石英晶体	T	三极管、周期
A_{VF}	闭环电压放大倍数	K_{CMR}	共模抑制比	Tr	变压器
BW	带宽	m	调制系数	t	时间
C_B	基极耦合电容	N	线圈绕组匝数	v	交流电压
C_C	集电极耦合电容	P	功率	v_{id}	差模输入电压
C_E	发射极旁路电容	P_0	额定功率	V	交流电压有效值
C_j	结电容	P_C	耗散功率	V_{CC}	正电源电压
C_o	输出电容	P_{CM}	集电极最大允许功耗	V_{DD}	正电源电压
C_L	负载电容	P_D	静态功耗	V_{EE}	负电源电压
D	二极管	P_o	输出功率	V_{IO}	输入失调电压
D_C	变容二极管	Q	品质因数, 静态工作点	V_m	幅度
D_Z	稳压二极管	R_B, R_C, R_E	半导体三极管的基极、 集电极、发射极电阻	V_p	场效应管夹断电压
f_o	振荡器频率	r_{be}	半导体三极管的 输入电阻	V_{p-p}	交流电压峰-峰值
f_R	基准频率	R_F	反馈电阻	V_T	温度的电压当量
f_L	放大器的下限频率	R_G, R_D, R_S	场效应管的栅极、 漏极、源极电阻	ω_c	截止角频率
f_H	放大器的上限频率	R_i	交流输入电阻	ω_0	中心角频率
g_m	跨导	R_{id}	差模输入电阻	$\Delta\omega$	带通、带阻滤波 器的带宽
I_0	恒定电流				
I_{CM}	集电极最大允许电流				

高 频 电 路

A	天线	h_{ie}	晶体管共发射极 输入阻抗	V_{cm}	集电极交流电压振幅; 集电极回路谐振 电压振幅
A_{VO}	放大器在谐振点的 电压增益	I_{c0}	集电极电流直流分量	V_{cm}	调制电压振幅
A_p	功率增益				

$C_{b'c}$	集电结电容	I_{cm1}	集电极基波分量	v_{Ω}	调制电压瞬时值
$C_{b'e}$	发射结电容	i_b	基极电流瞬时值	y_{ie}	共发射极电路正向 传输导纳
C_{ie}	晶体管共发射极 电路输入电容	i_c	集电极电流瞬时值	y_i	输入导纳
f_0	中心频率	K_M	乘法器传输系数	y_{ie}	共发射极电路输入导纳
f_c	载频	$K_{r0.1}$	矩形系数	y_o	输出导纳
f_o	本振频率、谐振频率	K_V	压控振荡器增益 (灵敏度)	y_{oc}	共发射极电路输出导纳
f_p	并联谐振频率	m_a	调幅系数	y_{re}	共发射极电路反向 传输导纳
f_s	信号源频率	m_f	调频指数	Z_i	输入阻抗
f_V	压控振荡器频率	P_A	发射功率	Z_o	输出阻抗
f_{Ω}	调制信号频率	P_D	电源供给直流功率	γ	变容二极管电容 变化系数
Δf	频偏	P	接入系数	ω_c	滤波器截止角频率; 载波角载率
Δf_m	最大频偏	R_A	天线辐射电阻	$\omega(t)$	瞬时角频率
$g_{b'e}$	发射结电导	S	接收机灵敏度	Ω	调制信号角频率
g_{cc}	集电极输出电导	S_d	鉴频灵敏度		
g_L	负载电导	S_f	调制灵敏度		
h_{ie}	晶体管共发射极 电流放大系数	S_{IF}	中频灵敏度		
		S_{IM}	镜频灵敏度		

数 字 电 路

CP	时钟脉冲	R_{OFF}	器件截止时内阻	t_W	脉冲宽度
EN	允许(使能)	R_{ON}	器件导通时内阻	V_{IH}	输入高电平
FF	触发器	R_U	上拉电阻	V_{IL}	输入低电平
G	门	S_D	置位端	V_m	脉冲幅度
I_{IH}	高电平输入电流	t_f	下降时间	V_{NH}	输入高电平噪声容限
I_{IL}	低电平输入电流	t_{pd}	平均传输延迟时间	V_{NL}	输入低电平噪声容限
I_{IS}	门电路输入短路电流	t_{PHL}	输出由高电平变为低电 平时的传输延迟时间	V_{OH}	输出高电平
N_o	扇出系数	t_{PLH}	输出由低电平变为高电 平时的传输延迟时间	V_{OL}	输出低电平
OE	输出允许(使能)	t_r	上升时间	V_{TH}	门电路的阈值电压
q	占空比			V_{T+}	施密特触发特性的 正向阈值电压
R_D	复位端			V_{T-}	施密特触发特性的 负向阈值电压

目 录

第 1 章 电子线路设计与调试技术	(1)
1.1 电子线路设计的一般方法	(1)
1.2 电路的组装与调试技术	(3)
第 2 章 测量误差分析与实验数据处理	(7)
2.1 测量误差分析	(7)
2.1.1 测量误差的定义	(7)
2.1.2 测量误差的分类	(8)
2.1.3 测量误差的计算机辅助分析	(10)
2.1.4 误差传递公式及其应用	(11)
2.2 实验数据处理	(14)
2.2.1 实验数据的整理与曲线的绘制	(14)
2.2.2 实验数据的函数表示	(15)
2.2.3 实验数据的插值法	(17)
第 3 章 电子线路计算机辅助分析与设计	(19)
3.1 OrCAD 9.2 软件概述	(19)
3.1.1 OrCAD 9.2 软件简介	(19)
3.1.2 Capture 界面及菜单	(20)
3.1.3 PSpice A/D Lite Edition 界面及菜单	(22)
3.1.4 电路分析类型	(23)
3.1.5 常用库及生成的文件	(24)
3.2 OrCAD 9.2 电路设计仿真分析的流程	(25)
3.2.1 一般流程	(25)
3.2.2 结果输出文件	(34)
3.3 模拟电路的分析示例	(36)
3.4 高频电路的仿真示例	(40)
3.5 数模混合电路的分析示例	(42)
3.6 数字电路的分析示例	(43)
第 4 章 模拟电子线路基础实验	(45)
4.1 双极结型晶体管的参数测试与基本应用	(45)
4.1.1 BJT 的主要参数及其测试	(45)
4.1.2 选择 BJT 三极管的原则	(48)

4.1.3	三极管的基本应用举例	(48)
4.1.4	实验任务	(50)
4.2	结型场效应管的参数测试与基本应用	(52)
4.2.1	JFET 的主要参数及其测试	(52)
4.2.2	场效应管的基本应用举例	(54)
4.2.3	实验任务	(55)
4.3	集成运算放大器的参数测试	(56)
4.3.1	主要性能参数与测试方法	(57)
4.3.2	使用集成运算放大器时的注意事项	(60)
4.3.3	实验任务	(63)
4.4	集成运算放大器在信号运算方面的应用	(64)
4.4.1	同相放大器	(64)
4.4.2	反相放大器	(65)
4.4.3	加(减)法器	(66)
4.4.4	差分放大器	(66)
4.4.5	微分器	(68)
4.4.6	积分器	(69)
4.4.7	信号极性转换电路	(69)
4.4.8	自举式交流电压放大器	(70)
4.4.9	单电源供电的交流电压放大器	(71)
4.4.10	实验任务	(72)
4.5	集成运算放大器在波形产生与变换方面的应用	(74)
4.5.1	RC 正弦波振荡器	(74)
4.5.2	方波发生器	(75)
4.5.3	阶梯波发生器	(76)
4.5.4	正弦和余弦信号发生器	(77)
4.5.5	窗比较器	(77)
4.5.6	实验任务	(78)
第 5 章	模拟电子线路应用设计	(80)
5.1	双极结型晶体管放大器设计	(80)
5.1.1	电路工作原理与设计过程	(80)
5.1.2	设计举例	(82)
5.1.3	电路的安装与静态工作点调整	(83)
5.1.4	性能指标测试与电路参数修改	(84)
5.1.5	负反馈对放大器性能的影响	(87)
5.1.6	设计任务	(88)
5.2	差分放大器设计	(89)
5.2.1	具有恒流源的差分放大器	(90)
5.2.2	主要特性参数及其测试方法	(91)

5.2.3	设计举例	(93)
5.2.4	设计任务	(95)
5.3	函数发生器设计	(96)
5.3.1	方波-三角波-正弦波函数发生器设计	(96)
5.3.2	单片集成电路函数发生器 ICL8038	(99)
5.3.3	函数发生器的性能指标	(100)
5.3.4	设计举例	(101)
5.3.5	电路安装与调试技术	(102)
5.3.6	设计任务	(103)
5.4	RC 有源滤波器的快速设计	(103)
5.4.1	滤波器的快速设计方法	(104)
5.4.2	设计举例	(110)
5.4.3	设计任务	(113)
5.5	音响放大器设计	(114)
5.5.1	音响放大器的基本组成	(114)
5.5.2	音调控制器	(117)
5.5.3	功率放大器	(120)
5.5.4	音响放大器主要技术指标及测试方法	(122)
5.5.5	设计举例	(124)
5.5.6	电路安装与调试技术	(127)
5.5.7	设计任务	(128)
5.6	线性直流稳压电源设计	(129)
5.6.1	直流稳压电源的基本组成	(129)
5.6.2	稳压电源的性能指标及测试方法	(130)
5.6.3	集成稳压电源设计	(131)
5.6.4	设计举例	(133)
5.6.5	设计任务	(134)
第 6 章	数字逻辑电路基础实验	(136)
6.1	集成逻辑门及其基本应用	(136)
6.1.1	TTL 门电路的主要参数及使用规则	(136)
6.1.2	CMOS 门电路的主要参数及使用规则	(137)
6.1.3	集成逻辑门的基本应用	(138)
6.1.4	数字电路的调试技术	(142)
6.1.5	实验任务	(144)
6.2	集成电路定时器 555 及其基本应用	(146)
6.2.1	555 的内部结构及性能特点	(146)
6.2.2	555 组成的基本电路及应用	(146)
6.2.3	实验任务	(151)
6.3	集成触发器及其基本应用	(152)

6.3.1	集成触发器的触发方式与选用规则	(152)
6.3.2	D 触发器的基本应用	(153)
6.3.3	JK 触发器的基本应用	(153)
6.3.4	单稳态触发器的基本应用	(155)
6.3.5	实验任务	(158)
6.4	小规模数字逻辑电路设计	(158)
6.4.1	SSI 组合逻辑电路设计概述	(158)
6.4.2	SSI 时序逻辑电路设计概述	(159)
6.4.3	应用电路设计举例	(160)
6.4.4	时序逻辑电路初始状态的设置	(162)
6.4.5	设计任务	(162)
6.5	中规模组合逻辑电路及其应用电路设计	(164)
6.5.1	MSI 组合逻辑电路	(164)
6.5.2	应用电路设计举例	(171)
6.5.3	设计任务	(172)
6.6	中规模时序逻辑电路及其应用电路设计	(173)
6.6.1	MSI 时序逻辑电路	(173)
6.6.2	应用电路设计	(182)
6.6.3	设计任务	(184)
第 7 章	数字逻辑电路应用设计	(186)
7.1	篮球竞赛 30s 定时器设计	(186)
7.1.1	定时器的功能要求	(186)
7.1.2	定时器的组成框图	(186)
7.1.3	定时器的电路设计	(186)
7.1.4	设计任务	(188)
7.2	多路智力竞赛抢答器设计	(190)
7.2.1	抢答器的功能要求	(190)
7.2.2	抢答器的组成框图	(190)
7.2.3	电路设计	(191)
7.2.4	设计任务	(194)
7.3	汽车尾灯控制电路设计	(194)
7.3.1	设计要求	(194)
7.3.2	总体组成框图	(194)
7.3.3	电路设计	(195)
7.3.4	设计任务	(196)
7.4	多功能数字钟电路设计	(198)
7.4.1	数字钟的功能要求	(198)
7.4.2	总体组成框图	(198)
7.4.3	主体电路的设计与装调	(198)

7.4.4	功能扩展电路的设计	(200)
7.4.5	设计任务	(204)
7.5	数字电压表设计	(205)
7.5.1	数字电压表的基本组成及主要技术指标	(205)
7.5.2	CC7106 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表设计	(206)
7.5.3	MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表设计	(210)
7.5.4	设计任务	(213)
7.6	码位交织和反交织电路设计	(214)
7.6.1	码位交织与反交织的基本原理	(214)
7.6.2	码位反交织电路设计	(215)
7.6.3	反交织电路的模拟实验	(219)
7.6.4	设计任务	(220)
第 8 章	Verilog HDL 及其应用	(221)
8.1	Verilog HDL 程序的基本结构	(221)
8.1.1	硬件描述语言概述	(221)
8.1.2	Verilog HDL 程序的基本结构	(222)
8.2	Verilog HDL 语言的基本语法规则	(224)
8.3	Verilog HDL 运算符	(228)
8.4	Verilog HDL 门级建模	(231)
8.5	Verilog HDL 建模方式	(234)
8.5.1	数据流建模	(234)
8.5.2	行为级建模的常用语句	(235)
8.5.3	行为级建模	(239)
8.5.4	计数器的行为级建模	(242)
8.5.5	状态图的行为级建模	(243)
8.5.6	数字钟电路的分层次设计	(246)
8.5.7	设计任务	(249)
第 9 章	FPGA 的开发与应用	(252)
9.1	Altera 公司可编程逻辑器件简介	(252)
9.2	FLEX 10K 系列 FPGA	(255)
9.2.1	FPGA 实现逻辑函数的基本原理	(255)
9.2.2	FLEX 10K 系列器件结构	(256)
9.3	Altera 公司的器件编程与实验电路板的结构	(264)
9.3.1	ByteBlasterMV 的原理电路	(264)
9.3.2	ByteBlasterMV 与 CPLD/FPGA 的接口电路设计	(266)
9.3.3	Altera 公司的 FPGA 配置芯片	(268)
9.3.4	EDA Pro2K 数字系统实验装置使用说明	(270)

9.4	MAX+PLUS II 开发软件	(271)
9.4.1	MAX+PLUS II 软件简介	(271)
9.4.2	MAX+PLUS II 软件的使用	(272)
9.4.3	分层次设计的输入方法举例	(283)
9.4.4	设计任务	(285)
第 10 章	高频电子线路基础实验	(287)
10.1	高频电路的特点与实验基础	(287)
10.2	高频小信号谐振放大器设计	(291)
10.2.1	电路的基本原理	(291)
10.2.2	主要性能指标及测量方法	(292)
10.2.3	设计举例	(294)
10.2.4	设计任务	(296)
10.3	高频振荡器与变容二极管调频电路设计	(297)
10.3.1	LC 正弦波振荡器与变容二极管调频电路	(297)
10.3.2	集成振荡器 MC1648 与变容二极管调频电路	(299)
10.3.3	主要性能参数及其测试方法	(300)
10.3.4	设计举例	(302)
10.3.5	振荡器与调频的装调与测试	(304)
10.3.6	设计任务	(305)
10.4	集成模拟乘法器的应用	(306)
10.4.1	模拟乘法器工作原理及静态工作点的设置	(306)
10.4.2	集成模拟乘法器应用	(308)
10.4.3	设计任务	(316)
10.5	高频功率放大器设计	(317)
10.5.1	电路的基本原理	(317)
10.5.2	高频变压器的绕制	(322)
10.5.3	主要技术指标及实验测试方法	(322)
10.5.4	设计举例	(323)
10.5.5	高频谐振功率放大器的调整	(326)
10.5.6	设计任务	(327)
第 11 章	高频电子线路应用设计	(329)
11.1	小功率调频发射机设计	(329)
11.1.1	调频发射机及其主要技术指标	(329)
11.1.2	设计举例	(330)
11.1.3	整机联调时常见故障分析	(332)
11.1.4	设计任务	(333)
11.2	调频接收机设计	(333)
11.2.1	调频接收机的主要技术指标	(334)

11.2.2	调频接收机设计	(334)
11.2.3	设计举例	(337)
11.2.4	设计任务	(340)
11.3	调幅发射机设计	(342)
11.3.1	调幅发射机的工作原理及主要技术指标	(342)
11.3.2	设计举例	(343)
11.3.3	电路装调与测试	(345)
11.3.4	设计任务	(347)
11.4	调幅接收机设计	(347)
11.4.1	调幅接收机的工作原理及主要技术指标	(347)
11.4.2	设计举例	(349)
11.4.3	设计任务	(354)
第 12 章	综合性电子线路应用设计	(355)
12.1	集成电路锁相环及其应用电路设计	(355)
12.1.1	锁相环的基本组成	(355)
12.1.2	锁相环的主要参数与测试方法	(355)
12.1.3	数字锁相环 CC4046 及其应用电路设计	(357)
12.1.4	高频模拟锁相环 NE564 及其应用电路设计	(361)
12.1.5	低频锁相环 NE567 及其应用电路设计	(364)
12.1.6	设计任务	(366)
12.2	数字化语音存储与回放系统设计	(367)
12.2.1	系统基本功能及组成框图	(368)
12.2.2	系统电路设计	(368)
12.2.3	系统安装与测试技术	(373)
12.2.4	设计任务	(373)
12.3	基于 FPGA 的出租车计费器设计	(373)
12.3.1	系统功能与组成框图	(374)
12.3.2	电路设计	(375)
12.3.3	下载程序, 验证电路功能	(380)
12.3.4	设计任务	(381)
12.4	LCD 字符(图形)显示与应用电路设计	(381)
12.4.1	TRULY-M12864 LCD 显示器	(381)
12.4.2	TRULY-M12864 接口电路设计	(384)
12.4.3	用软件提取汉字的方法	(385)
12.4.4	显示程序的实现	(387)
12.4.5	LCD 显示的数字温度计电路设计	(390)
12.4.6	设计任务	(392)
附录 A	通用电子仪器及其应用	(394)

A.1	函数信号发生器/计数器 EE1641B	(394)
A.2	数字实时示波器 Tektronix TDS1002	(395)
附录 B	实验课程教学计划、设计性实验报告与模拟测试题	(402)
B.1	实验课程教学计划 (参考)	(402)
B.2	设计性实验及其范例	(403)
B.3	实验模拟测试题	(406)
附录 C	分立元件的性能简介	(410)
附录 D	集成电路的型号与引脚排列图	(413)
附录 E	本书所用集成电路逻辑功能与引脚速查表	(420)
参考文献		(421)

第1章 电子线路设计与调试技术

内容提要 本章介绍了电子线路设计的一般方法, 以及电路的组装与调试技术。这些内容是电子线路实验技术的基础。

1.1 电子线路设计的一般方法

学习要求 熟悉电子线路设计的基本原则和设计流程。

1. 电子线路设计的基本原则

电子线路设计是指根据设计任务、要求和条件, 选择合适的方案, 确定电路的总体组成框图, 接着对各单元电路进行设计, 最后得到满足技术指标和功能要求的完整电路图的过程。

一个好的设计除了完全满足性能指标和功能要求外, 还要求电路简单可靠, 系统集成度高, 电磁兼容性好, 性能价格比高, 同时要求系统的功耗小、安装调试方便。

2. 电子线路设计的一般步骤

一般来说, 电子线路的设计不是一个简单的、一次能完成的过程, 而是一个逐步试探的过程。下面介绍电子线路设计的主要步骤。

(1) 仔细审题, 分析技术指标

接到设计课题后, 一定要仔细分析设计课题的要求、各项性能指标的含义, 以便明确系统要完成的任务。

(2) 进行方案选择, 画出总体组成框图, 分配技术指标

弄清题意后, 就可以进行总体方案设计了。这时, 可以通过图书馆或网络检索相关参考资料, 参考一些与设计课题相近的电路方案, 查阅能够满足技术指标要求的器件。对于同一个课题, 实现的方案可能有多个, 应该将不同的方案进行对比, 根据自己现有条件选择一种方案。

最后根据选择的方案, 从全局着手, 把系统要完成的任务按照功能划分为若干个相互联系的单元电路, 然后将技术指标和功能分配给各个单元电路, 并画出一个能表示系统基本组成和相互关系的总体组成框图。

例如, 要设计一个额定输出功率不小于 1W 的音响放大电路, 并要求该电路具有话筒扩音、数字混响延时、卡拉 OK 伴唱等功能。由题意可知, 该系统要完成的主要功能是放大和混响延时, 这是一个数模混合的电子系统, 参考相关资料, 可以设计出该系统的总体框图, 如图 1.1.1 所示。

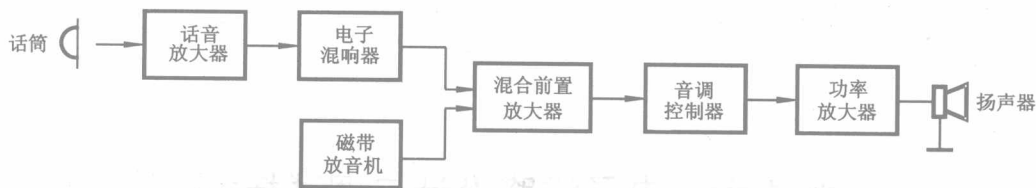


图 1.1.1 音响放大器的总体框图

然后将系统要完成的功能和各项技术指标分配给各个单元电路。由于话筒（低阻 20Ω ）的输出电压大约为 5mV ，而输出功率大于 1W ，则输出电压 $V_o = \sqrt{P_o R_L} > 2.8\text{V}$ 。可见系统的总电压增益 $A_{V\Sigma} = V_o/V_i > 560$ 倍（ 55dB ）。混响延时电路可以选用专用数字混响集成电路芯片，如 M65831A，它只完成混响功能，不放大输入信号，因此该电路的电压增益主要分配给放大器。图 1.1.2 是各单元电路电压增益分配情况（电路设计时，通常保留一定的裕量，图中取 $V_o=3\text{V}$ ）。

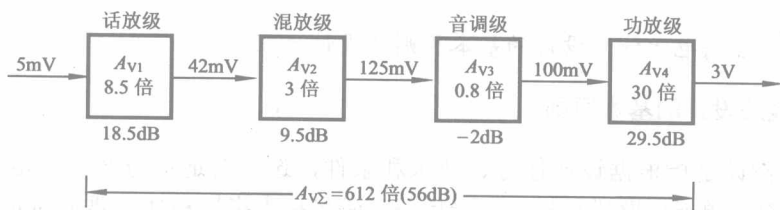


图 1.1.2 各单元电路的电压增益分配

（3）设计单元电路，进行计算机仿真实验

单元电路的设计可以参考一些典型的实用电路，或者将几个电路巧妙地结合起来实现某个功能。通常包括电路选择、元器件选择、电路参数计算、计算机仿真和实验调试等步骤。如果元器件选择合适，则电路实现起来就比较简单。在电路形式确定后，还要根据公式计算出各元件的参数，由于电子元器件性能的离散性及标称规格分级有限且存在误差，故元器件参数的计算常称为估算，估算的参数需要经过仿真或实验调试才能确定。对单元电路进行计算机仿真实验可以提高实验效率，避免搭接硬件电路、进行重复测试的烦琐过程。

在设计单元电路时，在保证电路性能指标的前提下，要尽量减少元器件品种、规格，要尽量选用集成电路进行设计。在选择元器件时，要注意以下几点：

① 选择集成电路进行设计时，除了考虑集成电路的功能和性能指标外，还要注意芯片的供电电压、功耗、速度和价格等因素。

② 电阻和电容的种类较多，正确选择电阻和电容是很重要的，不同电路对电阻和电容性能要求是不同的，有些电路对电容的漏电要求很严，有些电路对阻容元件的精度要求很高。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，并要注意功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。由于电阻值大时，其误差和噪声会增大，因此选择电阻时，其阻值一般不应超过 $10\text{M}\Omega$ ，并尽量选择阻值小于 $1\text{M}\Omega$ 的电阻。对于非电解电容的选择，其数值应在常用电容器标称系列之内，并根据设计要求及电路工作具体情况选择电容种类，其电容值最好在 $100\text{pF} \sim 0.1\mu\text{F}$ 。

（4）画出总体电路图

在单元电路设计完成后，应画出能反映各单元电路连接关系的完整的电路原理图。此