

全国大学生电子设计竞赛 培训系列教程

基本技能训练与单元电路设计



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高吉祥 主编
唐朝京 主审

全国大学生电子设计竞赛培训系列教程

基本技能训练与 单元电路设计

高吉祥 主编

唐朝京 主审

库锡树 徐 欣 关永峰 吴 帅 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是全国大学生电子设计竞赛培训系列教程之一——《基本技能训练与单元电路设计》分册。全书共7章,主要介绍了“全国大学生电子设计竞赛”的基本情况、设计竞赛命题原则及要求、历届考题的类型、考题所涉及的知识面和知识点、竞赛培训流程,以及赛前、竞赛期间的注意事项等内容;并较详细地讲解了电子竞赛制作的基础训练、单片机最小系统和可编程逻辑器件系统设计制作;最后介绍了单元电路的工作原理、设计与制作。

本书内容丰富实用,叙述简洁清晰,工程性强,可作为高等学校电子信息科学与工程类专业、电气工程及自动控制类专业的大学生参加“全国大学生电子设计制作竞赛”的培训教材,也可作为各类电子制作、课程设计、毕业设计的教学参考书,以及电子工程技术工程师的参考书。

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

基本技能训练与单元电路设计/高吉祥主编.——北京:电子工业出版社,2007.5

(全国大学生电子设计竞赛培训系列教程)

ISBN 978 7-121-04307-9

I. 基… II. 高… III. 电路设计—技术培训—教材 IV. TM02

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第060679号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印刷:北京市大竺颖华印刷厂

装订:三河市金马印装有限公司

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:787×980 1/16 印张:28 字数:624.4千字

印次:2007年5月第1次印刷

印数:4000册 定价:38.00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。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

全国大学生电子设计竞赛培训系列教程

编审委员会

主任委员

罗伟雄(北京理工大学教授、全国大学生电子设计竞赛责任专家)

副主任委员

唐朝京(中国软件学会嵌入式系统分会副理事长、全国大学生电子设计竞赛湖南赛区组委会主任、国防科技大学电子科学与工程学院院长、教授、博士生导师)

陈晓莉(电子工业出版社 高等教育分社)

委员

陈明义(全国大学生电子设计竞赛专家、中南大学教授、博士)

库锡树(全国大学生电子设计竞赛湖南赛区组委会成员兼秘书长、国防科技大学教授)

卢启中(全国大学生电子设计竞赛专家、湖南赛区专家组组长、国防科技大学教授)

徐 欣(中国软件学会嵌入式系统分会常务理事、国防科技大学教授)

高吉祥(电子技术基础系列教材(“十一五”规划教材)主编、全国大学生电子设计竞赛培训系列教程主编、国防科技大学教授)

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、信息产业部人事司共同主办的面向大学生、大专生的群众性科技活动,目的在于推动普通高等学校的信息电子类学科面向 21 世纪的课程体系和课程内容改革,引导高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际学风,加强学生工程实践能力的训练和培养,鼓励广大学生踊跃参加课外活动,把主要精力吸引到学习和能力培养上来,促进高等学校形成良好的学习风气,同时也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办了七届。深受全国大学生的欢迎和喜爱,参赛学校、队和学生逐年递增。全国大学生电子设计竞赛组委会为了组织好这项竞赛,编写了电子设计竞赛获奖作品选编,深受参赛队员的喜爱。有许多参赛队员和辅导教师反映,若能编写一部从基本技能训练、单元电路设计直至综合设计系列教程,那将是锦上添花。2006 年北京理工大学罗伟雄教授在湖南指导工作时也曾提出这个设想。当时就得到了国防科技大学的领导和教员响应。立即组建了“全国大学生电子设计竞赛培训系列教程编写委员会”。并组织了几十名教员和曾经获得全国大学生电子设计竞赛大奖的在校研究生和博士生对历届的考题(约 43 题)重新设计制作一次。为这个系列教程编写奠定了理论和实践的基础。

本系列教程分为五个分册,共 23 章。第一分册为《基本技能训练与单元电路设计》;第二分册为《模拟电子线路设计》;第三分册为《高频电子线路设计》;第四分册为《电子仪器仪表设计》;第五分册为《数字电路与自控系统设计》。

第一分册 《基本技能训练与单元电路设计》,又称基础分册,共有 7 章(第 1~7 章)。主要介绍了全国大学生电子设计竞赛基本情况,命题原则及要求,竞赛题所涉及的知识面与知识点;全国大学生电子设计竞赛流程;电子设计竞赛制作基本训练;单片机最小系统设计制作;可编程逻辑器件系统设计制作;电子系统设计的基本方法及步骤;常用中小规模集成电路的应用设计课题。

第二分册 《模拟电子线路设计》,共有 3 章(第 8~10 章)。主要介绍了交直流、稳压电源设计、放大器设计及信号源设计。

第三分册 《高频电子线路设计》,共 4 章(第 11~14 章)。主要介绍了高频电子线路设计基础、无线电发射机的设计、无线电接收机的设计及无线电收发系统设计。

第四分册 《电子仪器仪表设计》,共有 6 章(第 15~20 章)。主要介绍时频测量仪设计、电气参数测量仪设计、时域测量仪设计、元器件参数测量仪设计、频域测量仪设计及数据域测试仪设计。

第五分册 《数字电路与自动控制系统设计》，共 3 章(第 21~23 章)。主要介绍数字电路设计、自动控制系统设计、实验箱的组成、原理及应用。

本书是第一分册——《基本技能训练与单元电路设计》，共分为 7 章。

第 1 章 绪论，介绍了全国大学生电子设计竞赛基本情况，命题原则及要求，历届考题分类及竞赛题所涉及的知识面与知识点。

第 2 章 全国大学生电子设计竞赛培训流程，介绍了赛前的组织、动员与培训，赛前的题目分析和准备及竞赛期间应注意的几个问题。

第 3 章 电子设计竞赛制作基础培训，介绍了常用电子电路的元器件的识别与主要性能参数，印制电路板设计与制作，装配工具及使用方法。

第 4 章 单片机最小系统设计制作，介绍了单片机最小系统设计制作，人机接口技术，A/D、D/A 转换电路及程序设计，片外存储器扩展，单片机最小系统与 FPGA 接口电路及程序设计，单片机最小系统故障分析及处理。

第 5 章 可编程逻辑器件系统设计制作训练，介绍了 FPGA 最小系统设计制作，FPGA 最小系统配置电路的设计，ModelSim 仿真工具的使用，FPGA 最小系统板的下载，常见错误及原因分析，编程技巧。

第 6 章 电子系统设计的基本方法及步骤，介绍了电子系统设计的基本方法，电子竞赛作品设计制作步骤及电子设计竞赛总结报告。

第 7 章 常用中大规模集成电路的应用设计课题，介绍了模电、数电、高频电子线路、自动控制、仪器仪表等主要专业基础课程相关的课题，共搜集 40 道课题，通过对单元电路的设计对综合设计打下牢固坚实基础。

参加本书编写工作的有高吉祥、库锡树、徐欣、关永峰、刘菊荣、吴帅、步凯、翟庆林等人。第 1~3 章由库锡树、刘菊荣、高吉祥执笔，第 4 章由关永峰执笔，第 5 章由徐欣、吴帅执笔，第 6、7 章由高吉祥、步凯、丁文霞、陆珉执笔。高微为全书的打印、绘图做了大量工作。全书由高吉祥编稿、定稿，由唐朝京教授主审与策划。

因编写时间仓促，难免会出现错误，欢迎读者批评、纠正，我们表示衷心感谢。

联系地址：长沙 国防科技大学四院一系 高吉祥收

邮 编：410073

电 话：(0731)4553230，(0731)4575489

E-mail: gaojixiang1942@sohu.com

编 者
2007 年 2 月

常用文字符号说明

一、基本符号

1. 电流和电压

I_B, U_{BE}	大写字母、大写下标表示直流量
I_b, U_{be}	大写字母、小写下标表示交流有效值
$\dot{I}_b, \dot{U}_{be}$	大写字母上面加点、小写下标表示正弦相量
i_B, u_B	小写字母、大写下标表示总瞬时值
i_{be}, u_{be}	小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值
V_{CC}, V_{BB}, V_{EE}	双极型三极管集电极、基极、发射极直流电源电压
V_{DD}, V_{GG}, V_{SS}	场效应管漏极、栅极、源极直流电源电压
I_i, U_i	输入电流、输入电压
I'_i, U'_i	净输入电流、净输入电压
I_o, U_o	输出电流、输出电压
$U_{o(AV)}$	输出电压平均值
U_{om}	最大输出电压
I_f, U_f	反馈电流、反馈电压
I_Q, U_Q	静态电流、静态电压
U_{REF}	参考电压
U_S	信号源电压
U_T	温度的电压当量
I_1, U_1	集成运放同相输入端的电流、电压
I_-, U_-	集成运放反相输入端的电流、电压

2. 功率

P	功率的通用符号
P_o	输出交变功率
P_{om}	输出交变功率最大值
P_V	电源提供的直流功率

3. 频率

B	通频带
f_H	放大电路的上限(-3dB) 频率
f_L	放大电路的下限(-3dB) 频率
f_0	振荡频率、谐振频率
ω	角频率的通用符号

4. 电阻、电容、电感、阻抗

R	大写字母表示电路中外接的电阻或电路的等效电阻
r	小写字母表示器件的等效电阻
R_i, R_o	电路的输入电阻、输出电阻
R_{if}, R_{of}	有反馈时电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_s	信号源内阻
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
X	电抗的通用符号
Z	阻抗的通用符号

5. 增益或放大倍数、反馈系数

A	增益或放大倍数的通用符号
A_c	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_u	电压放大倍数
A_p	功率放大倍数
A_{uf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
F	反馈系数的通用符号

二、器件符号

1. 器件及引脚名称

B	晶体谐振器(晶体换能管)
b, c, e	双极型三极管的基极、集电极、发射极
D, G, S	场效应晶体管的漏极、栅极、源极

T	变压器
VD	二极管
VD _Z	稳压管
VT	双极型三极管(晶体管)、场效应管

2. 器件参数

A_{od}	集成运放的开环差模电压增益
C_{je}, C_{bc}	发射结、集电结等效电容
I_{CB0}	集电极 - 基极之间的反向饱和电流
I_{CE0}	集电极 - 发射极之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
I_{DAV}	整流二极管平均电流
I_S	二极管反向饱和电流
I_Z	稳压管稳定电流
I_{IB}	集成运放输入偏置电流
I_{IC}	集成运放输入失调电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
S_R	集成运放转换速率
U_Z	稳压管稳定电压
$U_{(BR)(CEO)}$	发射极开路时集电极 - 基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(CIX)}$	基极开路时集电极 - 发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(FIO)}$	集电极开路时发射极 - 基极之间的反向击穿电压
U_{CES}	集电极 - 发射极之间的饱和管压降
U_{Icm}	集成运放最大共模输入电压
U_{Idm}	集成运放最大差模输入电压
U_{IQ}	集成运放输入失调电压
U_P	场效应管的夹断电压
U_{γ}	场效应管的开启电压
B_G	集成运放的单位增益带宽
f_t	双极型三极管的特征频率
f_{α}, f_{β}	共基极截止频率、共射极截止频率
g_m	跨导
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结微变等效电阻
r_{be}	共射接法下基极 - 发射极之间的微变等效电阻

r_{ce}	共射接法下集电极—发射极之间的微变等效电阻
r_{DS}	场效应管漏极—源极之间的微变等效电阻
r_{GS}	场效应管栅极—源极之间的微变等效电阻
r_{id}	集成运放差模输入电阻
α, β	共基极, 共射极电流放大系数
$\bar{\alpha}, \bar{\beta}$	共基极, 共射极直流电流放大系数

三、其他符号

D	非线性失真系数
K_{CMR}	共模抑制比
M	互感系数
Q	品质因数
S	整流电路的脉动系数
S_r	稳压系数
T	周期, 温度
η	效率
τ	时间常数
φ	相位角

表 1 部分电气图用图形符号
(根据国家标准 GB4728)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线		传声器		电阻器	
连接的导线		扬声器		可变电阻器	
接地		二极管		电容器	
接机壳		稳压二极管		线圈, 绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁心变压器	
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	

表 II 部分电路元件的图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
独立电流源		理想导线		电容	
独立电压源		连接的导线		电感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器	
受控电压源		理想开关		耦合电感	
电阻		开路		回转器	
可变电阻		短路		理想运放	
非线性电阻		理想二极管		二端元件	

表 III 常用逻辑门电路图形对照表

逻辑器件名称	原部标(SJ)符号	国标(GB)符号	美国(IEEE)符号
与门			
或门			
非门(相反器)			
缓冲器			
与非门			
或非门			
集电极开路与非门			
三态与非门			
异或门			
同或门			
与或非门			

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 全国大学生设计竞赛简介	1
1.2 全国大学生电子设计竞赛命题原则及要求	2
1.2.1 命题范围	2
1.2.2 题目要求	3
1.2.3 命题格式	3
1.2.4 征题办法	3
1.3 历届考题分类	3
1.4 竞赛题所涉及的知识面与知识点	5
第 2 章 全国大学生电子设计竞赛培训流程	7
2.1 赛前组织与动员	7
2.2 赛前培训	7
2.2.1 理论课培训	7
2.2.2 基本技能培训	9
2.2.3 课程设计培训	10
2.2.4 综合题设计培训	12
2.2.5 队员的组合与分工	13
2.3 赛前题目分析和准备	14
2.3.1 赛前公布的基本仪器和主要元器件清单	14
2.3.2 赛前题目分析	15
2.3.3 赛前准备	18
2.4 竞赛过程中应注意的几个问题	19
2.4.1 注意竞赛纪律	19
2.4.2 竞赛题目的分析	20
2.4.3 方案设计	20
2.4.4 元器件的采购	21
2.4.5 设计装配制作	21
2.4.6 竞赛时间安排	22
2.4.7 注意休息与饮食	22

第3章 电子设计竞赛制作基础训练	24
3.1 常用电子电路元件、器件的识别与主要性能参数	24
3.1.1 电阻器的简单识别与型号命名法	24
3.1.2 电容器的简单识别与型号命名法	30
3.1.3 电感器的简单识别与型号命名法	35
3.1.4 半导体器件的简单识别与型号命名法	36
3.1.5 半导体集成电路型号命名法	43
3.2 印制电路板设计与制作	46
3.2.1 印制电路板的设计	46
3.2.2 印制电路板的制作	47
3.3 装配工具及使用方法	55
3.3.1 装配工具	55
3.3.2 焊接材料	56
3.3.3 焊接工艺和方法	57
第4章 单片机最小系统设计制作	62
4.1 单片机最小系统设计制作	62
4.1.1 单片机最小系统硬件设计	62
4.1.2 单片机最小系统时钟、复位、译码电路简介	64
4.2 人一机接口技术	66
4.2.1 键盘接口电路及程序设计	66
4.2.2 数码管接口电路及程序设计	69
4.2.3 液晶接口电路及程序设计	77
4.3 模/数、数/模变换电路及程序设计	83
4.3.1 串行模/数变换器应用	84
4.3.2 串行数/模变换器应用	88
4.4 片外存储器扩展	93
4.4.1 片外静态 RAM 扩展及程序设计	93
4.4.2 片外串行 EEPROM 扩展及程序设计	94
4.5 单片机最小系统与 FPGA 接口电路及程序设计	109
4.6 单片机最小系统故障分析及处理	112
第5章 可编程逻辑器件系统设计制作训练	117
5.1 FPGA 最小系统的设计制作	117
5.1.1 Xilinx 公司的 FPGA 器件	117
5.1.2 FPGA 最小系统电路设计	118
5.1.3 FPGA 最小系统印制板设计	121
5.1.4 FPGA 最小系统电源电路的设计	121

5.2	FPGA 最小系统配置电路的设计	125
5.2.1	使用 PC 并行口配置 FPGA	125
5.2.2	使用单片机配置 FPGA	126
5.2.3	Spartan-3 器件的配置	127
5.2.4	各种模式的配置方式	130
5.3	ModelSim 仿真工具的使用	132
5.3.1	设计流程	132
5.3.2	行为仿真和时序仿真	132
5.3.3	行为仿真步骤	133
5.3.4	行为仿真查错分析	135
5.3.5	时序仿真(Timing Simulation)步骤	141
5.4	FPGA 最小系统板的下载	144
5.4.1	设计的实现过程	144
5.4.2	使用 iMPACT 配置 FPGA 最小系统板的过程	144
5.5	常见错误及其原因分析	152
5.5.1	避免语法错误	152
5.5.2	信号与变量	154
5.5.3	IF-ELSE 语句	155
5.5.4	CASE 语句	157
5.5.5	多时钟源的解决方案	158
5.5.6	仿真无波形	159
5.5.7	执行时端口丢失	160
5.6	编程技巧	161
5.6.1	程序优化	161
5.6.2	状态机优化	164
5.6.3	片内资源的开发利用	165
5.6.4	毛刺与抗干扰	167
5.6.5	宏功能模块和 IP 核复用	169
第 6 章	电子系统设计的基本方法及步骤	170
6.1	电子系统设计的基本方法	170
6.1.1	概述	170
6.1.2	现代电子系统的设计方法	171
6.1.3	EDA 技术	173
6.2	电子竞赛作品设计制作步骤	175
6.2.1	题目选择	176
6.2.2	系统方案论证	176

6.2.3 硬件设计	186
6.2.4 软件设计	197
6.2.5 制板与装配	199
6.2.6 调试与测试	199
6.3 电子设计竞赛设计总结报告写作	199
6.3.1 设计总结报告写作基本要求	200
6.3.2 设计总结报告示例	204
第7章 常用中大规模集成电路的应用设计课题	233
7.1 音响放大器	233
7.2 集成直流稳压电源的设计	246
7.3 函数发生器的设计	253
7.4 语音放大电路	262
7.5 心电波信号放大系统	273
7.6 增益可编程的衰减及放大系统	275
7.7 模拟乘法器应用——功率测量仪	277
7.8 可编程增益放大器设计	280
7.9 宽带放大器设计	284
7.10 数字时钟设计	293
7.11 数字频率计	297
7.12 数字电压表	304
7.13 数字万用表	313
7.14 出租汽车里程计价表	316
7.15 数字电子秤	318
7.16 红外线数字转速表	329
7.17 数字温度计	334
7.18 电容数字测量仪	335
7.19 大电流测量仪	337
7.20 加/减法运算电路	338
7.21 高速并行 A/D 转换系统	343
7.22 多路数据采集系统	345
7.23 电力电子技术应用之一——晶闸管调速系统	350
7.24 电力电子技术应用之二——双向晶闸管交流调功器	355
7.25 步进电机控制器	358
7.26 自动切换量程峰值检测系统	360
7.27 多踪示波器	363
7.28 自动触发同步扫描系统设计	364

7.29	晶体管图示仪设计.....	368
7.30	多用信号发生器设计.....	372
7.31	锁相环应用之一——可编程倍频器.....	374
7.32	锁相环应用之二——数字显示相位差测量仪.....	378
7.33	模拟乘法器的应用电路设计.....	380
7.34	超外差 AM 收音机设计	390
7.35	FM 接收机设计	393
7.36	LC 正弦振荡器的设计	396
7.37	50W 高频宽带功率放大器的设计	400
7.38	CATV 干线放大器设计	404
7.39	频率合成器的设计.....	411
7.40	小功率调幅高频发射机的设计.....	422
参考文献		426