

全国大学生电子设计竞赛 培训系列教程 高频电子线路设计



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

高频电子线路设计

高吉祥 主 编

唐朝京 主 审

吴 佳 步 凯 翟庆林 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是针对历年全国大学生电子设计竞赛的特点和需要,为高等院校电子信息工程、通信工程、自动化和电气控制类专业学生而编写的系列培训教材之一——《高频电子线路设计》。全书共分4章,内容包括:高频电子线路设计基础(频谱变换电路、数字调制与解调电路、频率合成技术、功率合成技术、宽频带技术及无线电发射与接收设备)、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的设计。

本书内容丰富实用,叙述简洁清晰,工程性强,可作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材,也可作为参加各类电子制作、课程设计、毕业设计的教学参考书,以及电子工程技术人员从事高频电路设计与制造的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路设计/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 978-7-121-04288-1

I. 高… II. 高… III. …高频—电子电路—电路设计—技术培训—教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第059964号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

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:18.5 字数:414千字

印 次:2007年5月第1次印刷

印 数:4000册 定价:27.00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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@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和行政责任,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的学风,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赛事,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。

本系列教程分为五册,共 23 章。

第一分册《基本技能训练与单元电路设计》;第二分册《模拟电子线路设计》;第三分册《高频电子线路设计》;第四分册《电子仪器仪表设计》;第五分册《数字电路与自动控制系统设计》。

第一分册 《基本技能训练与单元电路设计》,又称基础篇,共有 7 章(第 1 章~第 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培训;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 章~第 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 章~第 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 章~第 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《数字电路及自动控制系统设计》，共3章(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。

本书包含的4章内容是：

第11章高频电子线路设计基础，主要介绍了频谱变换电路、数字调制与解调电路、频率合成技术、宽带技术、功率合成技术及无线电接收与发射设备的原理及应用。

第12章无线电发射机的设计，介绍了电压控制LC振荡器设计、简易发射机(AM)电路设计、智能大功率调频发射机设计及正弦信号发生器设计。

第13章无线电接收机设计，介绍了调幅广播收音机设计、短波调频接收机设计和调频收音机设计。

第14章无线电收发系统设计，介绍了简易无线电遥控系统设计、单工无线呼叫系统设计、抗同频干扰的收发系统设计及CDMA数字手机电路剖析。

参加本书编写工作的有高吉祥、吴佳、步凯、翟庆林等人。本书主要章节由高吉祥执笔，12.4节由步凯执笔，吴佳、翟庆林参与了全书软件设计的部分工作。本书由唐朝京教授主审。

因编写时间仓促，难免会出现错误，欢迎读者批评纠正。我们表示万分感谢。

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_+, U_+	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	电流提供的直流功率

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
$C_{b'e}, C_{b'c}$	发射结、集电结等效电容
I_{CBO}	集电极 — 基极之间的反向饱和电流
I_{CEO}	集电极 — 发射之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
$I_{D(AV)}$	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_{IO}	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
$U_{(BR)(CBO)}$	发射极开路时集电极 — 基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(CEO)}$	基极开路时集电极 — 发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(EBO)}$	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_T	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_a, 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 I 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		铁芯变压器	
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	

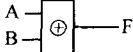
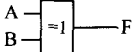

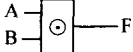

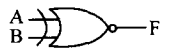
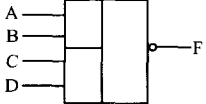
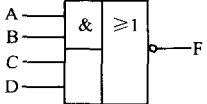
表 II 部分电路元件的图形符号

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 耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转器	
电阻		开路		理想运放	
可变电阻		短路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管			

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			

(续)

逻辑器件名称	原部标(SJ) 符号	国标(GB) 符号	美国(IEEE) 符号
异或门			
同或门			
与或非门			

目 录

第 11 章 高频电子线路设计基础	1
11.1 频谱变换电路	1
11.1.1 频谱变换电路分类	1
11.1.2 模拟乘法器	2
11.1.3 普通调幅波的产生电路与解调电路	3
11.1.4 抑制载波调幅波的产生电路与解调电路	8
11.1.5 混频电路	11
11.1.6 倍频器	12
11.1.7 调角波的基本性质	12
11.1.8 直接调频电路	14
11.1.9 调频波的解调	21
11.1.10 限幅器	29
11.2 数字调制与解调电路	30
11.2.1 二进制振幅键控(ASK) 调制与解调	30
11.2.2 二进制频移键控(FSK) 调制与解调	32
11.2.3 二进制相移键控(PSK) 调制与解调	34
11.2.4 多进制数字振幅调制(MASK) 系统	38
11.2.5 多进制数字频率调制(MFSK) 系统	39
11.2.6 多进制数字相位调制(MPSK) 系统	40
11.2.7 正交振幅调制(QAM)	41
11.3 无线电技术中的反馈控制电路	42
11.3.1 AGC、AFC 和 APC 的结构、工作原理、特点及性能分析	42
11.3.2 AGC、AFC 和 APC 的应用	46
11.4 频率合成技术	47
11.4.1 直接频率合成法	48
11.4.2 间接频率合成法(锁相环路法)	49
11.4.3 几种常用的单片集成锁相环频率合成器	51
11.5 宽带高频功率放大电路	63
11.5.1 传输线变压器构成的宽带放大器	63
11.5.2 集成宽带放大器	65

11.6	功率合成器	66
11.6.1	采用传输线变压器的功率合成器	66
11.6.2	直接功率合成器	69
11.7	无线电接收与发射设备	71
11.7.1	概述	71
11.7.2	无线电接收机	71
11.7.3	调频发射机	74
第12章	无线电发射机的设计	83
12.1	电压控制 LC 振荡器设计 (2003 年全国大学生电子设计竞赛 A 题)	83
12.1.1	题目分析	84
12.1.2	方案论证	85
12.1.3	系统设计(一)	95
12.1.4	系统设计(二)	106
12.2	简易发射机电路设计 (2004 年湖北省大学生电子设计竞赛 A 题)	113
12.2.1	题目分析	116
12.2.2	方案论证	118
12.2.3	系统设计	121
12.2.4	系统测试	126
12.3	智能大功率调频发射机设计	127
12.3.1	背景	128
12.3.2	系统设计	128
12.4	正弦信号发生器设计 (2005 年全国大学生电子设计竞赛 A 题)	142
12.4.1	题目分析	145
12.4.2	方案论证	145
12.4.3	主要部件原理及参数计算	148
12.4.4	系统设计	155
12.4.5	结论	160
第13章	无线电接收机设计	163
13.1	调幅广播收音机设计 (1997 年全国大学生电子设计竞赛 D 题)	163
13.1.1	题目分析	164
13.1.2	方案论证	167
13.1.3	系统设计	169

13.1.4	系统调试	175
13.1.5	系统性能指标测试与结果分析	177
13.2	短波调频接收机设计 (1999年全国大学生电子设计竞赛 D 题)	179
13.2.1	题目分析	180
13.2.2	系统方案论证	181
13.2.3	硬件设计	184
13.2.4	单片机系统设计	187
13.2.5	测试方法与数据	189
13.3	调频收音机设计 (2001年全国大学生电子设计竞赛 F 题)	192
13.3.1	题目分析	193
13.3.2	方案论证与比较	194
13.3.3	系统设计	196
13.3.4	软件设计	199
13.3.5	测试方法与测试数据	201
13.3.6	升 / 降式 DC-DC 电源转换器 MC33063A/MC34063A 简介	202
第 14 章	无线电收发系统设计	206
14.1	简易无线电遥控系统设计 (1995年全国大学生电子设计竞赛 C 题)	206
14.1.1	题目分析	207
14.1.2	系统方案论证	208
14.1.3	电路的设计与计算	211
14.1.4	测试结果	214
14.1.5	系统性能及特点	214
14.2	单工无线呼叫系统设计 (2005年全国大学生电子设计竞赛 D 题)	215
14.2.1	题目分析	217
14.2.2	方案论证	218
14.2.3	硬件设计	224
14.2.4	软件设计	232
14.2.5	系统调试	233
14.2.6	指标测试和测试结果	236
14.2.7	结论	241
14.3	抗同频干扰的收发系统设计	242
14.3.1	课题背景	243

14.3.2	系统方案论证	243
14.3.3	系统设计	244
14.4	CDMA 数字手机电路分析	246
14.4.1	概述	246
14.4.2	CDMA 手机基带电路芯片简介	248
14.4.3	CDMA 手机电路剖析	255
参考文献	279