

全国大学生电子设计竞赛培训教程第4分册

# 高频电子线路与 通信系统设计

高吉祥 陈威兵 主 编  
王 彦 副主编  
傅丰林 主 审

 中国工信出版集团

 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

全国大学生电子设计竞赛培训教程第4分册



# 高频电子线路 **与** 通信系统设计

高吉祥 陈威兵 主 编◎

王 彦 副主编◎

李 楠 张耀东 欧阳宏志 董招辉 编◎

傅丰林 主 审◎

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书为全国大学生电子设计竞赛培训教程第4分册,是针对全国大学生电子设计竞赛的特点和需求编写的。全书共4章,内容包括高频放大器设计、无线电发射机设计、无线电接收机设计、通信系统设计。全书精选历届全国大学生电子设计竞赛中高频电子线路与通信系统设计的试题16道,每道题均有精彩的试题剖析,系统方案论证,理论分析与计算,硬件与软件设计和测试方法,测试结果及结果分析。

本书内容丰富实用,叙述简洁,概念清晰,工程性强,可作为高等学校电子类各专业的学生参加全国及省市级电子设计竞赛的培训教材,也可作为各类电子制作、毕业设计的参考书,以及电子工程各类技术人员的参考资料。

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

全国大学生电子设计竞赛培训教程.第4分册,高频电子线路与通信系统设计/高吉祥,陈威兵主编.  
北京:电子工业出版社,2019.4

ISBN 978-7-121-29496-9

I. ①全… II. ①高… ②陈… III. ①高频—电子电路—电路设计—高等学校—教材 ②通信系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037094号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:谭海平 特约编辑:陈晓莉

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

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:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:403.2千字

版 次:2019年4月第1版

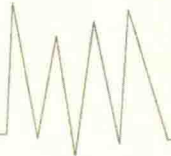
印 次:2019年4月第1次印刷

定 价:49.80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)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式:(010)88254535, [wjy@phei.com.cn](mailto:wjy@phei.com.cn)。



# 前 言



全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的面向全国高等学校本科、专科学生的一项群众性科技活动，目的在于推动普通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能力，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科技活动，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 13 届，深受全国大学生的欢迎和喜爱，参赛学校、参赛队和参赛学生的数量逐年增加。对参赛学生而言，电子设计竞赛和赛前系列培训，使他们获得了电子综合设计能力，巩固了所学知识，并培养了他们用所学理论指导实践，团结一致，协同作战的综合素质；通过参加竞赛，参赛学生可以发现学习过程中的不足，找到努力的方向，为毕业后从事专业技术工作打下更好的基础，为将来就业做好准备。对指导老师而言，电子设计竞赛是新、奇、特设计思路的充分展示，更是各高等学校之间电子技术教学、科研水平的检验，通过参加竞赛，可以找到教学中的不足之处。对各高等学校而言，全国大学生电子设计竞赛现已成为学校评估不可缺少的项目之一，这种全国大赛是提高学校整体教学水平、改进教学的一种好方法。

全国大学生电子设计竞赛仅在单数年份举办，但近几年来，许多地区、省市在双数年份单独举办地区性或省内电子设计竞赛，还有许多学校甚至每年举办多次各种电子竞赛，其目的在于通过这类电子大赛，让更多的学生受益。

全国大学生电子设计竞赛组委会为组织好这项赛事，于 2005 年编写了《全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编（2005）》。我们在组委会的支持下，从 2007 年开始至今，编写了“全国大学生电子设计竞赛培训教程”（共 14 册），深受参赛学生和指导教师的欢迎和喜爱。

这一系列教程出版发行后，据不完全统计，被数百所高校采用，作为全国大学生电子设计竞赛及各类电子设计竞赛培训的主要教材或参考教材。读者纷纷来信来电表示这套教材写得很成功、很实用，同时也提出了许多宝贵意见。基于这种情况，从 2017 年开始，我们对此系列教程进行整编。新编著的 5 本系列教材包括《基本技能与综合测评训练》《模拟电子线路与电源设计》《数字系统与自动控制系统设计》《高频电子线路与通信系统设计》《电子仪器仪表与测量系统设计》。

《高频电子线路与通信系统设计》是新编著系列教材的第4分册，全书共4章。第1章主要介绍高频放大器设计基础、宽带放大器设计、宽带直流放大器、LC谐振放大器、射频宽带放大器及增益可控射频放大器。第2章主要介绍电压控制LC振荡器设计、正弦信号发生器设计。第3章主要介绍调幅广播收音机设计、调频收音机设计、调幅信号处理实验电路。第4章主要介绍单工无线呼叫系统设计、无线识别装置、无线环境监测模拟装置、红外光通信装置、短距视频信号无线通信网络及可见光室内定位装置。

本书搜集整理了历届全国大学生电子设计竞赛中关于高频电子线路与通信系统设计方面的试题，所列举的每道试题均设有题目分析、方案论证、理论分析与参数计算、软硬件设计、测试方法、测试结果及结果分析，内容丰富多彩。

本书由高吉祥、陈威兵任主编，王彦任副主编，李楠、张耀东、欧阳宏志、董招辉等人参与部分章节的编写工作。西安电子科技大学傅丰林教授百忙之中对本书进行了审阅。长沙大学电子信息与电气工程学院院长刘光灿教授、副院长刘辉教授对本系列教材立项、修订、组织、资料搜集、校对等做了大量的组织工作。北京理工大学罗伟雄教授、武汉大学赵茂泰教授、东南大学王志功教授等为本书出谋划策，对本书的修订提出了宝贵意见，为此表示万分感谢。

由于时间仓促，本书在编写过程中难免存在疏漏和不足，欢迎广大读者和同行批评指正，在此表示衷心感谢。

编 者



# 目 录

第 1 章 高频放大器设计	1
1.1 高频放大器设计基础	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 射频宽带放大器	1
1.1.3 集成射频宽带放大器介绍	1
1.2 宽带放大器设计	
[2003 年全国大学生电子设计竞赛 (B 题)]	5
1.2.1 题目分析	7
1.2.2 方案论证及比较	7
1.2.3 系统硬件设计	11
1.2.4 系统软件设计及流程图	15
1.2.5 系统调试和测试结果	15
1.3 宽带直流放大器	
[2009 年全国大学生电子设计竞赛 (C 题) (本科组)]	18
1.3.1 设计任务与要求	18
1.3.2 题目分析	22
1.3.3 荣获全国特等奖的宽带直流放大器	26
1.3.4 采用扩压、扩流技术的宽带直流放大器	32
1.4 LC 谐振放大器 (接收机中放电路)	
[2011 年全国大学生电子设计竞赛 (D 题)]	38
1.4.1 题目分析	40
1.4.2 系统方案论证	43
1.4.3 理论分析与计算	45
1.4.4 电路设计	46



1.4.5	测试与结果分析	49
1.5	射频宽带放大器	
	[2013年全国大学生电子设计竞赛(D题)]	51
1.5.1	题目分析	53
1.5.2	系统方案	53
1.5.3	理论分析与计算	54
1.5.4	电路与程序设计	55
1.5.5	测试方案与测试结果	58
1.6	增益可控射频放大器	
	[2015年全国大学生电子设计竞赛(D题)(本科组)]	59
1.6.1	题目分析	61
1.6.2	增益可控射频放大器设计报告 D01	61
1.6.3	增益可控射频放大器设计报告 D05	67
<b>第2章</b>	<b>无线电发射机设计</b>	<b>74</b>
2.1	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)]	74
2.1.1	题目分析	75
2.1.2	方案论证	76
2.1.3	系统设计	85
2.2	正弦信号发生器设计	
	[2005年全国大学生电子设计竞赛(A题)]	95
2.2.1	题目分析	97
2.2.2	方案论证	98
2.2.3	主要部件原理及参数计算	100
2.2.4	系统设计	106
2.2.5	结论	111
<b>第3章</b>	<b>无线电接收机设计</b>	<b>113</b>
3.1	调幅广播收音机设计	
	[1997年全国大学生电子设计竞赛(D题)]	113
3.1.1	题目分析	114
3.1.2	方案论证	117



3.1.3	系统设计	119
3.1.4	系统调试	123
3.1.5	系统性能指标测试与结果分析	126
3.2	调频收音机设计	
	[2001年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	128
3.2.1	题目分析	129
3.2.2	方案论证与比较	130
3.2.3	系统设计	132
3.2.4	软件设计	135
3.2.5	测试方法与测试数据	136
3.3	调幅信号处理实验电路	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	138
3.3.1	题目分析	139
3.3.2	系统方案论证和选择	142
3.3.3	理论分析与计算	143
3.3.4	电路设计	144
3.3.5	程序设计	147
3.3.6	测试结果	148
第4章	通信系统设计	149
4.1	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)]	149
4.1.1	题目分析	151
4.1.2	方案论证	152
4.1.3	硬件设计	157
4.1.4	软件设计	165
4.1.5	系统调试	167
4.1.6	指标测试和测试结果	168
4.1.7	结论	173
4.2	无线识别装置	
	[2007年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	174
4.2.1	题目分析	175





4.2.2	系统方案论证	182
4.2.3	电路与程序设计	186
4.2.4	测试方案和测试结果	192
4.3	无线环境监测模拟装置	
	[2009年全国大学生电子设计竞赛(D题)(本科组)]	193
4.3.1	题目分析	196
4.3.2	采用OOK调制方式的无线环境监测模拟装置	199
4.3.3	低频载波的无线环境监测模拟装置	205
4.4	红外光通信装置	
	[2013年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	211
4.4.1	题目分析	213
4.4.2	系统方案	214
4.4.3	理论分析与计算	216
4.4.4	电路与程序设计	217
4.4.5	测试方案与测试结果	220
4.5	短距视频信号无线通信网络	
	[2015年全国大学生电子设计竞赛(G题)(本科组)]	222
4.5.1	题目分析	224
4.5.2	方案论证	225
4.5.3	理论分析与计算	226
4.5.4	电路与程序设计	227
4.5.5	测试方案与测试结果	230
4.6	可见光室内定位装置	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(I题)]	232
4.6.1	题目分析	233
4.6.2	可见光室内定位装置设计实例	238
	参考文献	243



# 第①章

## 高频放大器设计

### 1.1 高频放大器设计基础

#### 1.1.1 概述

随着通信技术的快速发展,通信频率越来越高,因此对放大器的频带要求也越来越高。高频放大器的作用是放大高频已调波信号的功率,以满足发送功率的要求,然后通过天线将其辐射到空间,保证在一定区域内的接收机能够接收到满意的信号电平,且干扰相邻信道的通信。射频宽带放大器广泛地应用于因特网和 CATV 网,以补偿射频信号在网络传输过程中造成的能量损失。

高频放大器是一类十分重要的通信产品,其设计主要分为三部分:前级放大、中间级放大和末级放大。前级放大采用低噪声放大,高频信号对噪声的要求很高,很容易受到噪声的干扰而使信号失真。中间级放大的主要作用是放大信号,放大器的大部分增益是在该部分实现的。末级放大主要放大信号功率,一般采用功率放大芯片来驱动负载。

#### 1.1.2 射频宽带放大器

射频宽带放大器在普通放大器的基础上增加了两个条件:一是能够放大射频段的信号;二是放大信号的带宽大大加宽,带宽的数量级一般为兆赫兹,今天射频宽带放大器的带宽已达吉赫兹。

射频宽带放大器的主要特点是能在一个很宽的频带内达到稳定的增益值,这也是性能评价的主要指标。射频宽带放大器由多级放大器级联而成,宽带很宽,上限截止频率 $f_H$ 高达吉赫兹量级,甚至高达数百吉赫兹。因此,对放大器级联的阻抗匹配要求很严格,阻抗不匹配将会导致信号反射,进而导致带内增益不均衡,同时阻抗匹配问题也是制作射频宽带放大器的一个难点。有关射频宽带放大器的研究已有很多,研究重点为低噪声、带宽、频率和增益等指标,这几个指标也是制作射频宽带放大器时应予以考虑的。

#### 1.1.3 集成射频宽带放大器介绍

##### 1. THS3201

THS3201 是超宽带低噪声电流反馈型放大器,其供电电压为 $\pm(3.3\sim 7.5)$  V,单位增



带宽为 1.8GHz，输入电压噪声为  $1.65\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，压摆率高达  $10500\text{V}/\mu\text{s}$ ，适合于射频宽带放大器前级小信号低噪声固定增益放大电路的设计。基于 THS3201 的宽带同相放大器电路图如图 1.1.1 所示。

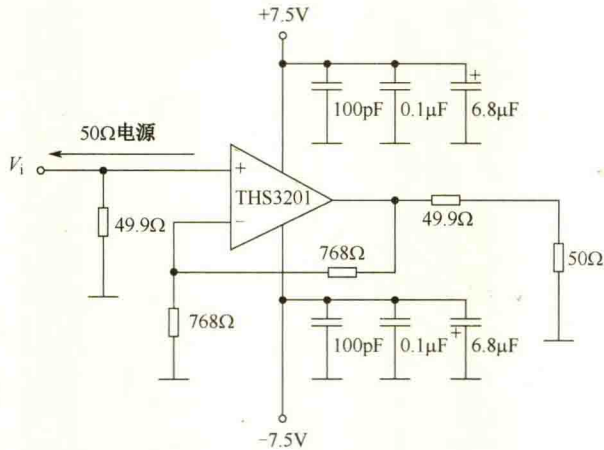


图 1.1.1 基于 THS3201 的宽带同相放大器电路图

## 2. OPA695

OPA695 是一款低功耗超宽带电流反馈型运算放大器。当增益  $G = +2$  时，其带宽 BW 为 1400MHz；当增益  $G = +8$  时，其带宽 BW 为 450MHz；输出电压范围为  $-4.2\sim+4.2\text{V}$ ；压摆率为  $4300\text{V}/\mu\text{s}$ 。基于 OPA695 的宽带同相放大器电路图如图 1.1.2 所示。

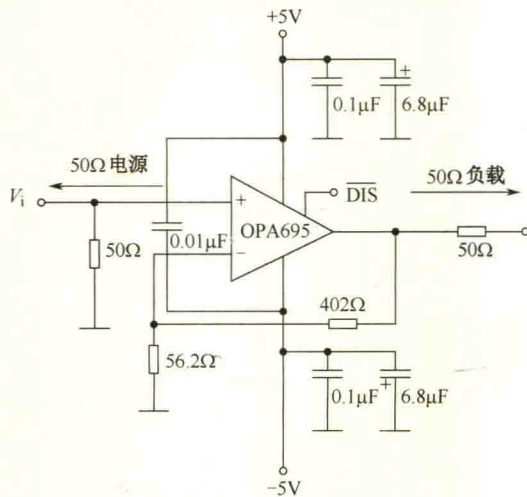


图 1.1.2 基于 OPA695 的宽带同相放大器电路图

## 3. OPA847

OPA847 是宽带低噪声电压反馈放大器，其增益带宽积为 3.9GHz，低输入噪声电压为  $0.85\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，压摆率为  $950\text{V}/\mu\text{s}$ ，高直流精度为  $100\mu\text{V}$ ，低供电电流为 18.1mA。极低的输入电压和电流噪声结合 3.9GHz 的增益带宽积，使得 OPA847 成为宽带应用的理想放大器。



基于 OPA847 的同相 20 倍增益的放大器电路如图 1.1.3 所示。

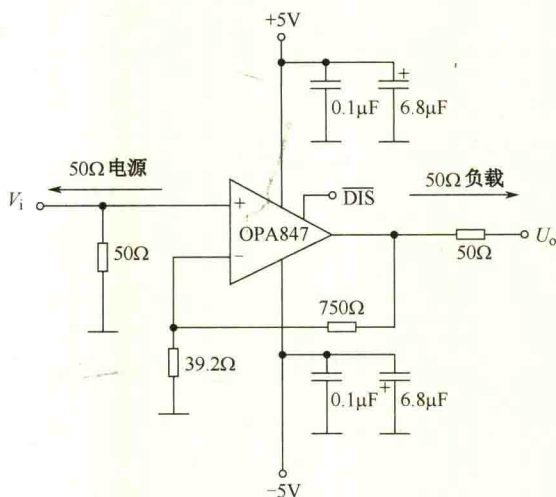


图 1.1.3 基于 OPA847 的同相 20 倍增益的放大器电路图

#### 4. AD8367

AD8367 是一款高性能可变增益放大器，设计用于在最高 500MHz 的中频频率下工作。在外部施加 0~1V 的模拟增益控制电压，可调整 45dB 增益控制范围，以提供 20mV/dB 输出，实现精确的线性增益调整。3dB 带宽为 500MHz，增益调节范围为 -2.5~+42.5dB，单端输入阻抗为 200Ω。基于 AD8367 的增益可变放大器电路图如图 1.1.4 所示。

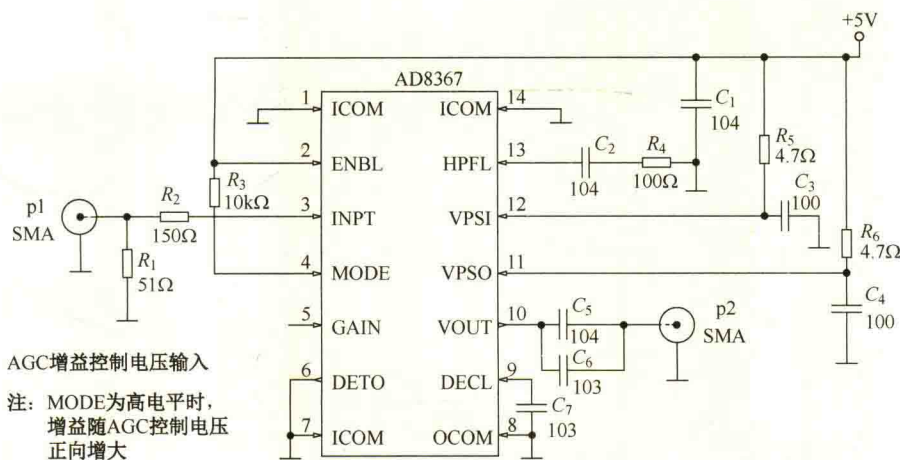


图 1.1.4 基于 AD8367 的增益可变放大器电路图

#### 5. VCA824

VCA824 是一款超宽带、增益调节范围大于 40dB 的线性可变增益放大器。小信号带宽为 710MHz ( $G=2$ )，大信号带宽为 320MHz ( $G=10$ )。高增益调节精度为  $(20 \pm 0.3)$  dB。将控制电压范围设置为 -1~+1V，可在范围 -20~+20dB 调节增益。单端输入电阻与输出电阻均为 50Ω。基于 VCA824 的增益可变放大器电路图如图 1.1.5 所示。

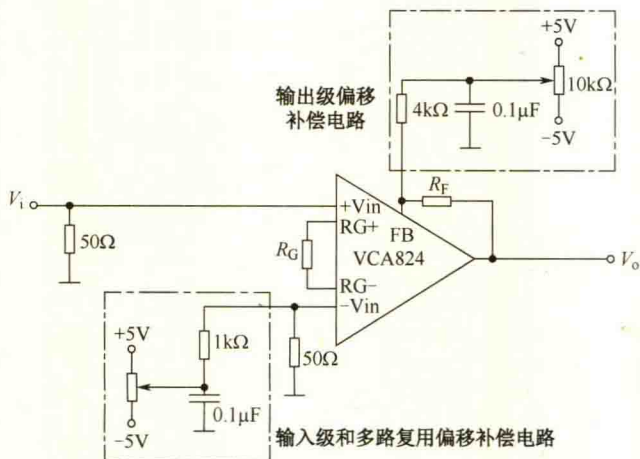


图 1.1.5 基于 VCA824 的增益可变放大器电路图

## 6. THS3091

THS3091 是一款高性能、低失真、电流反馈型运算放大器，其供电电压为 ±(5~15)V，带宽为 210MHz ( $R_L = 100\Omega$ ,  $G = +2$ )，压摆率为 2500V/ $\mu$ s，输出电流可达 250mA，非常适合用于射频宽带放大器末级功放的设计。基于 THS3091 的功率放大器电路图如图 1.1.6 所示。

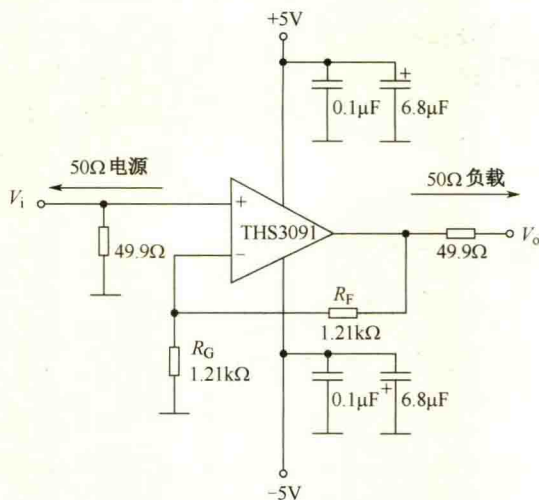


图 1.1.6 基于 THS3091 的功率放大器电路图

## 7. THS3001

THS3001 是一款带宽为 420MHz ( $G = 1\text{dB}$ ,  $-3\text{dB}$ ) 的高速电流负反馈运算放大器，其压摆率极高，最大闭环增益为 5 时可表现出最好的性能。在 ±15V 供电、反馈电阻  $R_F = 6800\Omega$  时，具有 110MHz 的带宽，增益起伏为 0.1dB。大信号应用时具有 40ns 的建立时间，差分增益误差小于 0.01%，差分相位误差小于 0.02%，非线性失真小于 96dB。THS3001 的电源电压为 ±(4.5~15)V。基于 THS3001 的功率放大器电路图如图 1.1.7 所示。

## 8. BUF634

BUF634 是一款输出电流的 250mA 的高速缓冲器,其供电电源的电压范围为 $\pm(2.25\sim 18)$  V。BUF634 的应用范围广,可用于运算放大器的反馈回路,以提高输出电流,消除热反馈。例如,低功率应用时 BUF634 的静态电流为 1.5mA,输出电流为 250mA,压摆率为 2000V/ $\mu$ s,带宽为 30MHz。通过连接 V-和 BW 引脚之间的电阻,带宽在范围 30~180MHz 内可调。输出电路由内部限流和热关断提供保护。基于 BUF634 的缓冲器电路图如图 1.1.8 所示。

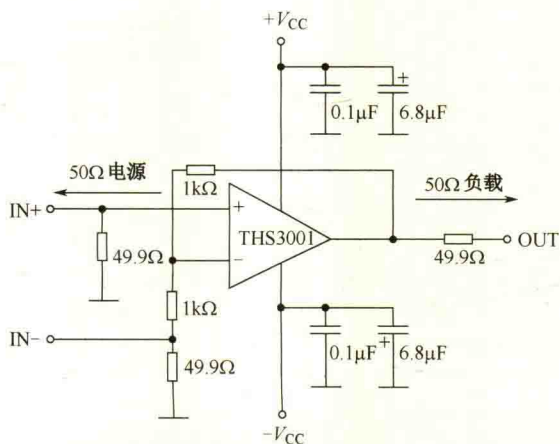


图 1.1.7 基于 THS3001 的功率放大器电路图

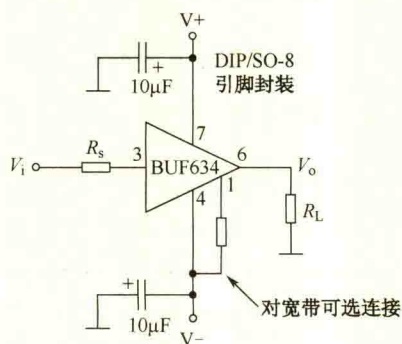


图 1.1.8 基于 BUF634 的缓冲器电路图

## 1.2 宽带放大器设计

## [2003 年全国大学生电子设计竞赛 (B 题)]

## 1. 任务

设计并制作一个宽带放大器。

## 2. 要求

## 1) 基本要求

- (1) 输入阻抗大于等于 1k $\Omega$ ; 单端输入, 单端输出; 放大器负载电阻为 600 $\Omega$ 。
- (2) 3dB 通频带为 10kHz~6MHz, 在频带 20kHz~5MHz 内增益起伏小于等于 1dB。
- (3) 最大增益大于等于 40dB, 增益调节范围为 10~40dB (增益值 6 级可调, 步进为 6dB, 增益预置值与实测值误差的绝对值小于等于 2dB), 需要显示预置增益值。
- (4) 最大输出电压有效值大于等于 3V, 数字显示输出正弦电压有效值。
- (5) 自制放大器所需的稳压电源。

## 2) 发挥部分

- (1) 最大输出电压有效值大于等于 6V。



(2) 最大增益大于等于 58dB (3dB 带宽为 10kHz~6MHz, 在频带 20kHz~5MHz 内增益起伏小于等于 1dB), 增益调节范围为 10~58dB (增益值 9 级可调, 步进为 6dB, 增益预置值与实测值误差的绝对值小于等于 2dB), 需要显示预置增益值。

(3) 增加自动增益控制 (AGC) 功能, AGC 的范围大于等于 70dB, 在 AGC 稳定范围内, 输出电压有效值应稳定在范围  $4.5V \leq U_o \leq 5.5V$  内 (详见下文“说明”中的介绍)。

(4) 输出噪声电压峰峰值  $V_{pp} \leq 0.5V$ 。

(5) 进一步扩展频带, 提高增益, 提高输出电压幅度, 扩大 AGC 范围, 减小增益调节步进。

(6) 其他。

### 3. 评分标准

论文 50 分, 完成基本要求制作部分 50 分, 完成发挥部分 50 分。

### 4. 说明

(1) 基本要求部分第 (3) 项和发挥部分第 (2) 项的增益步进级数对照表见表 1.2.1。

表 1.2.1 增益步进级数对照表

增益步进级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
预置增益值/dB	10	16	22	28	34	40	46	52	58

(2) 发挥部分第 (4) 项的测试条件为: 输入交流短路, 增益为 58dB。

(3) 宽带放大器幅频特性测试框图如图 1.2.1 所示。

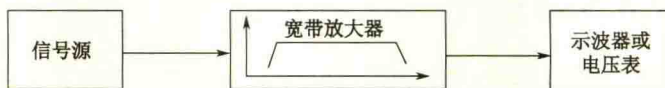


图 1.2.1 宽带放大器幅频特性测试框图

(4) AGC 电路常用在接收机的中频或视频放大器中, 作用是在输入信号较强时自动减小放大器的增益, 而在输入信号较弱时自动增大放大器的增益, 以便保证在 AGC 作用范围内输出电压的均匀性, 因此 AGC 电路实质上是一个负反馈电路。

在发挥部分的第 (3) 项中, AGC 功能放大器的折线化传输特性示意图如图 1.2.2 所示。本题定义

$$\text{AGC 范围} = [20\lg(U_{s2}/U_{s1}) - 20\lg(U_{OH}/U_{OL})] \text{ (dB)}$$

要求输出电压有效值稳定在范围  $4.5V \leq U_o \leq 5.5V$  内, 即  $U_{OL} \geq 4.5V$ ,  $U_{OH} \leq 5.5V$ 。

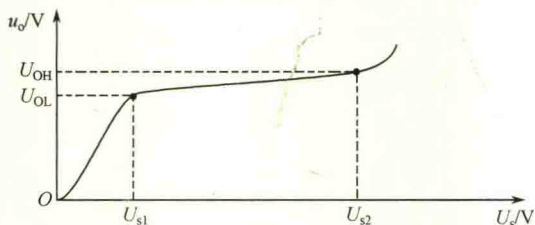


图 1.2.2 AGC 功能放大器的折线化传输特性示意图



## 1.2.1 题目分析

分析与归类原题的基本要求和发挥部分后,可将本系统要完成的功能和技术指标归纳如下:

(1) 输入阻抗大于等于  $1\text{k}\Omega$ , 单端输入, 输入电压为  $0.2\text{mV}\sim 2\text{V}$ 。

(2) 输出阻抗为  $600\Omega$ , 单端输出, 输出电压有效值  $U_o$  并显示:

$$U_{\text{omax}} \geq 3\text{V} \text{ (基本要求)}$$

$$U_{\text{omax}} \geq 6\text{V} \text{ (发挥部分)}$$

$$U_{\text{omax}} = 9\text{V} \text{ (进一步发挥)}$$

(3)  $-3\text{dB}$  通频带为  $10\text{kHz}\sim 6\text{MHz}$ , 在  $20\text{kHz}\sim 5\text{MHz}$  频率范围内增益起伏小于等于  $1\text{dB}$  (基本要求); 进一步展宽通频带 (发挥部分)。

(4) 增益、增益控制范围、步进及误差:

最大增益大于等于  $40\text{dB}$ , 增益调节范围为  $10\sim 40\text{dB}$ , 步进为  $6\text{dB}$ , 误差小于等于  $2\text{dB}$ , 需要显示预置值 (基本要求)。

最大增益大于等于  $58\text{dB}$ , 增益调节范围为  $10\sim 58\text{dB}$ , 步进为  $6\text{dB}$ , 误差小于等于  $2\text{dB}$ , 需要显示预置值 (发挥部分)。

进一步提高增益, 进一步扩大增益调节范围, 减小步进 (发挥部分)。

(5) AGC 范围大于等于  $70\text{dB}$  (输出电压有效值稳定在范围  $4.5\text{V}\leq U_o\leq 5.5\text{V}$  内) (发挥部分)。

(6) 输出噪声电压峰峰值  $V_{\text{pp}}\leq 0.5\text{V}$ 。

(7) 自制放大器所需的稳压电源。

(8) 其他。

## 1.2.2 方案论证及比较

### 1. 总体框图及指标分配

本系统的原理框图如图 1.2.3 所示。本系统由前置放大器、中间放大器、末级功率放大器、控制器、真有效值测量单元、键盘、显示器及自制稳压电源等组成, 其中前置放大器、中间放大器、末级功率放大器构成信号通道。其主要技术指标分配见表 1.2.2。

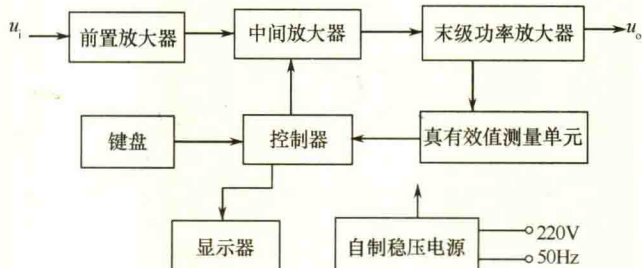


图 1.2.3 系统原理框图



表 1.2.2 主要技术指标分配一览表

数值	项目	电压增益 $G_v$ /dB	频带宽度 BW/MHz
级别			
前置级		0	$\geq 100$
中间级		-20~+60	60
末级		20	20
系统总指标		0~80	$\geq 10$

本设计有三个重点和难点：一是增益控制；二是自动增益控制（AGC）；三是末级功率放大器的设计。增益控制和自动增益控制是两个概念，它们有联系但又有区别。请仔细阅读题目要求及说明。

## 2. 增益控制部分

### ► 方案一：采用数字电位器取代反馈电阻的方法。

如图 1.2.3 所示，中间放大器和末级功率放大器均采用电压负反馈电路，通过改变反馈电阻来改变放大器的增益，例如采用 1024 个滑动端位置的数字电位器 X9110 或 X9111。该方案采用两级控制比较麻烦。

### ► 方案二：采用 D/A 集成芯片的方法。

为便于实现最大 60dB 增益的调节，可以采用 D/A 芯片 AD7520 的电阻网络改变反馈电压，进而控制电路增益。考虑到 AD7520 是一款廉价的 10 位 D/A 芯片，输出  $U_{out} = D_n U_{ref} / 2^{10}$ ，其中  $D_n$  为 10 位数字量输入的二进制值，可满足  $2^{10} = 1024$  挡增益调节，因此满足题目的精度要求。AD7520 由 CMOS 电流开关和梯形电阻网络构成，具有结构简单、精确度高、体积小、控制方便、外围布线简单等特点，因此可以采用 AD7520 来实现信号的程控衰减。然而，由于 AD7520 对输入参考电压  $U_{ref}$  有一定的幅度要求，因此具体实现起来比较复杂，而且转换时的非线性误差大，带宽只有几千赫兹，不满足频带要求。

### ► 方案三：采用可调增益放大器 AD603 的方法。

根据题目对放大电路增益可控的要求，考虑直接选可调增益的运算放大器实现，如运算放大器 AD603，其内部由  $R-2R$  梯形电阻网络和固定增益放大器构成，加在梯形网络输入端的信号经过衰减后，由固定增益放大器输出，衰减量由加在增益控制接口的参考电压决定，而该参考电压可通过单片机进行运算并控制 D/A 芯片的输出控制电压得到，进而实现较为精确的数字控制。此外，AD603 能提供从直流到 30MHz 以上的工作带宽，单级实际工作时可提供超过 20dB 的增益，两级级联后可得到 40dB 以上的增益，通过后级放大器放大输出，在高频时也可提供超过 60dB 的增益。这种方法的优点是电路集成度高，条理较清晰，控制方便，易于数字化处理。

方案比较：因方案一调整麻烦，方案二的带宽达不到题目要求，方案三能满足题目要求，所以选择方案三。

## 3. 自动增益控制部分

自动增益控制部分采用可调增益放大器 AD603。AD603 的内部结构框图如图 1.2.4 所