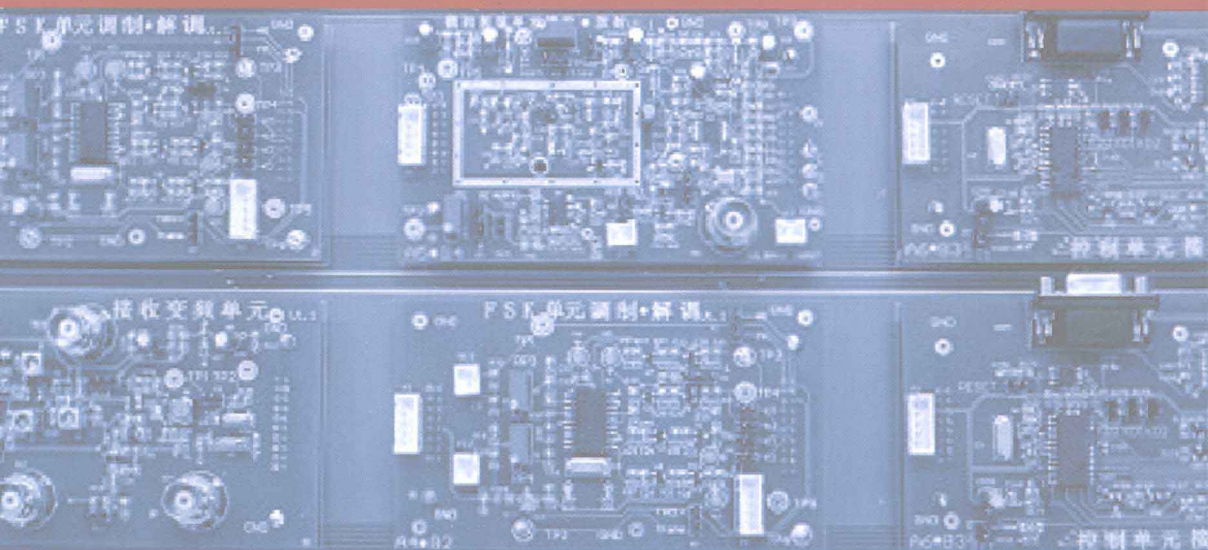


高等院校信息与通信工程系列教材

通信电子电路综合实验



余萍 程文清 车麟麟 编著



清华大学出版社

高等院校信息与通信工程系列教材

通信电子电路综合实验

余萍 程文清 车辘辘 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书基于面向 21 世纪实验教学内容和课程体系改革理念,实验平台以工作频率 223~224MHz 的 8 频道无线射频语音/数传电台为蓝本,系统介绍无线调频收发系统和调幅收发系统的电路组成及相关实验内容,适合作为通信及电子信息类专业的实验教材。

全书共 6 章,主要介绍以无线射频收发系统为基础建立的“通信电子电路”实验平台的体系结构、相应的硬件及仿真实验任务书、常用实验仪器及仿真工具、通信电子电路装配及调试知识等。主要实验电路模块有语音放大、FSK 调制解调、锁相振荡、发射功放、接收变频、中频解调等。主要实验内容有 FSK 调制与解调、语音及数字调频与解调、语音及数字调幅与解调、VCO 振荡、射极功放、锁相调频、低噪声放大、混频、滤波器、鉴频、调频及调幅收发系统整机联调等。借助频谱仪、矢量网络仪、无线电综合测试仪、频率计、示波器等实验仪器可考察实验电路模块及系统的多项技术指标,如系统频响、信号频谱及信噪比、锁相环特性、调频特性、发射功率及精度、接收灵敏度、镜频及邻道抑制、驻波、天线方向性等。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息类等专业的本科实验教材,也可供相应专业的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路综合实验/余萍,程文清,车麟编著. —北京:清华大学出版社,2012.1
(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 978-7-302-27685-2

I. ①通… II. ①余… ②程… ③车… III. ①通信—电子电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 267890 号

责任编辑:文 怡

责任校对:梁 毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13 字 数:319 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

产品编号:042733-01

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 （排名不分先后）：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已位居世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学

陈俊亮

2004年9月

前 言

“通信电子电路综合实验”是普通高等学校通信电子类专业本科阶段一门重要的专业基础实践课程。本教材以教育部教学指导委员会制定的教学基本要求为依据,以实际 8 频道数传电台(语音/数传通信收发机)为蓝本,紧密围绕无线通信系统中的接收、发送系统,从信号传输与电路实现的角度,将各功能电路之间的关系有机地结合起来。学生依据本教材制定实验任务书,借助专业的通信仪器,可在实验中全面掌握通信系统传输信号及通信电子电路处理信号的过程,掌握通信电子电路技术指标的测试和调试。本教材在编写中主要考虑以下 4 个方面。

(1) 全书以无线射频通信系统为主线,系统介绍通信电子电路实验箱的电路组成。实验箱整体即无线射频收发机,按照发送单元和接收单元又将收发机拆分成各功能模块单元电路,既可做整机大系统实验也可使单元模块电路脱离实验箱做模块小系统实验。在分析单元功能电路时,强调物理概念的描述和功能的实现,从而帮助学生建立系统整体概念。

(2) 实验任务的制定及技术指标的测试立足工程实际应用,教材中只给出实验任务和相应提示,实验方法及实验步骤由学生根据实验任务书自行设计和制定,变被动实验为主动实验。实验过程中,打破传统的实验分组方式,提倡以团队分工合作方式完成实验。

(3) 重视通信专业仪器的使用,在通信电子电路调试中除了使用数字示波器、频率计、信号发生器等常规仪器外,还引入无线电综合测试仪、频谱仪、矢量网络分析仪等通信专业仪器的典型应用;使学生对系统的频响特性、匹配特性、滤波特性、发射功率和精度、接收灵敏度、镜频及邻道抑制、信号频谱特性、信噪比、失真度等技术指标的调测有全面的感性认识。

(4) 全书在章节编排、内容取舍等方面充分考虑“通信电子电路综合实验”课程在通信电子电路实践教学中的地位和作用。借助 Multisim10 仿真软件所制定的仿真实验任务有助于对硬件实验的进一步理解和补充,最后还介绍了通信电子电路的装配及调试基础知识。文字表达尽量做到通俗易懂,以解决初学者处理高频电路时遇到的入门难问题。

全书分为 6 章,参考实验学时数为 2 周或 32 学时。

第 1 章通信电子电路实验系统,介绍无线射频收发系统及实验箱。主要内容包括实验用调频通信收发系统及各单元电路组成,调幅通信收发系统及各单元电路组成,实验箱布局、配置及使用方法。

第 2 章射频收发系统实验任务书,本章作为“通信电子电路综合实验”的硬件实验部

分,规定了实验的基本流程和要求。主要实验内容有 FSK 调制解调、锁相振荡(包含压控振荡器、锁相环、锁相调频等实验,考察调频特性、锁定范围、调频信号频谱等指标)、发射功放(包含电路增益、发射功率、发射精度、天线驻波、天线方向等实验)、接收变频(包含中频滤波器、低噪声放大器、混频电路等实验,调测相应的频响、噪声系数、隔离度、干扰及抑制等指标)、中频解调(包含中频选频放大器、第二混频器、正交鉴频器等实验,调测频响、增益、鉴频特性、信号失真度等指标)、幅度调制(包含 AM、DSB、SSB 等信号产生实验)、幅度解调(包含包络检波和同步检波实验)、调幅收发系统整机(包含语音调幅收发系统联机和数传调幅收发系统联机实验)、无线调频收发系统整机(包含无线调频发送系统、无线调频接收系统、发射与接收系统联机等实验,考察语音及数字信号的收发效果、通信距离、接收灵敏度、接收带宽等指标)。

第 3 章通信电子电路仿真实验任务书,介绍了仿真实验的基本要求和流程,学生可从任务书中选择某类电路独立完成仿真实验。所制定的仿真实验主要内容有锁相频率调制(包含振荡器类电路、频率调制电路、锁相环电路、频率合成器等仿真实验)、射频功率放大器(包含 C 类功放电路、C 类倍频电路、射频宽带功率放大电路等仿真实验)、接收变频(包含低噪声放大电路、混频电路等仿真实验)、中频解调(包含选频放大器、频率解调等仿真实验)、幅度调制与解调(包含三极管 AM 调制电路、二极管平衡调制电路、乘法器调制电路、二极管包络检波、乘法器同步检波等仿真实验)。

第 4 章实验仪器常用功能简介,介绍通信系统调试中所用的常规仪器和专业仪器的典型应用方法。主要仪器包括 EE1640C 型函数信号发生器/计数器、EE1461 型 DDS 合成信号发生器、EE5100 矢量网络分析仪、EE4052 频谱分析仪、EE5113 型无线电综合测试仪、DR200T2 发射调试标准设备、DR200R1 型射频接收调试设备、NFC-1000C-1 多功能计数器、ADS1102C 数字存储示波器等。

第 5 章 Multisim10 及其使用,介绍电子电路仿真工具及其在通信电子电路中的应用方式。主要内容有基本界面及设置、电路原理图的设计步骤、元器件库的操作、Multisim10 虚拟仪器及使用、虚拟仪器的应用实例分析、电路分析等。

第 6 章通信电子电路的装配与调试,主要介绍元器件认识(包含电阻、电容、电感、晶体管、集成电路芯片等元器件的识别)、印制电路板常识、元器件的装配与焊接、通信电子电路的调试(包括静态调试、动态调试、故障排查等调试手段)等。

本书由华北电力大学余萍主编,其中第 1、2、3、6 章由余萍编写,第 5 章由程文清编写,车麟编写第 4 章,贾惠彬、李然、赵建立对部分实验内容进行了验证,研究生杨威参加了部分图表的整理工作,余萍负责全书的统稿。

本书的编写得到南京新联电讯仪器有限公司的大力支持,他们提供了实验电路设计及专业仪器使用的相关资料,刘华强、侯俊、姜宽宽等工程师对本书的编写给予了修改意见和技术支持,在此深表感谢。

在本书的编写过程中,作者参考了大量书刊杂志和有关资料,从书后所列的参考文献

中吸取了宝贵成果,在此深表谢意。另外,作者还要感谢清华大学出版社对本书出版给予的支持和帮助,感谢文怡编辑对本书出版所付出的努力;感谢领导和同事对本书出版给予的大力帮助和支持。

通信技术发展迅猛,通信电子电路涉及范围广、新知识多,由于作者的水平和学识十分有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者给予批评指正!

作者

于保定华北电力大学

2011年4月

目 录

第 1 章 通信电子电路实验系统	1
1.1 调频通信收发系统组成	1
1.1.1 语音单元电路	2
1.1.2 FSK 调制解调单元电路	5
1.1.3 锁相振荡单元电路	6
1.1.4 发射功放单元电路	8
1.1.5 接收变频单元电路	8
1.1.6 中频解调单元电路	11
1.1.7 微机控制单元电路	13
1.2 调幅通信收发系统组成	15
1.2.1 幅度调制单元电路	15
1.2.2 幅度解调单元电路	15
1.3 通信电子电路实验箱说明	18
第 2 章 射频收发系统实验任务书	20
2.1 射频收发系统实验的基本要求和流程	20
2.2 FSK 调制解调单元电路实验任务书	21
2.2.1 撰写实验预习报告	21
2.2.2 FSK 单元电路实验内容	21
2.2.3 撰写实验分析报告	22
2.3 锁相振荡单元电路实验任务书	23
2.3.1 撰写实验预习报告	23
2.3.2 锁相振荡单元电路实验内容	23
2.3.3 撰写实验分析报告	26
2.4 发射功放单元电路实验任务书	26
2.4.1 撰写实验预习报告	26
2.4.2 发射功放单元电路实验内容	26
2.4.3 撰写实验分析报告	28
2.5 接收变频单元电路实验任务书	28
2.5.1 撰写实验预习报告	28

2.5.2	接收变频单元电路实验内容	28
2.5.3	撰写实验分析报告	30
2.6	中频解调单元电路实验任务书	31
2.6.1	撰写实验预习报告	31
2.6.2	中频解调单元电路实验内容	31
2.6.3	撰写实验分析报告	33
2.7	幅度调制单元电路实验任务书	33
2.7.1	撰写实验预习报告	33
2.7.2	幅度调制单元电路实验内容	33
2.7.3	撰写实验分析报告	34
2.8	幅度解调单元电路实验任务书	34
2.8.1	撰写实验预习报告	34
2.8.2	幅度解调单元电路实验内容	35
2.8.3	撰写实验分析报告	36
2.9	调幅收发系统整机实验任务书	36
2.9.1	撰写实验预习报告	36
2.9.2	调幅收发系统整机实验内容	36
2.9.3	撰写实验分析报告	37
2.10	无线调频收发系统整机实验任务书	38
2.10.1	撰写实验预习报告	38
2.10.2	无线调频收发系统整机实验内容	38
2.10.3	撰写实验分析报告	40
第3章	通信电子电路仿真实验任务书	42
3.1	通信电子电路仿真实验的基本要求和流程	43
3.2	锁相频率调制仿真实验任务书	43
3.2.1	振荡器类电路仿真任务书	44
3.2.2	频率调制电路仿真任务书	45
3.2.3	锁相环电路仿真任务书	46
3.2.4	频率合成器仿真任务书	48
3.3	射频功率放大器仿真实验任务书	48
3.4	接收变频仿真实验任务书	50
3.4.1	低噪声放大电路仿真任务书	50
3.4.2	混频电路仿真任务书	50
3.5	中频解调仿真实验任务书	52
3.5.1	选频放大器仿真实验任务书	52
3.5.2	频率解调仿真实验任务书	53
3.6	幅度调制与解调仿真实验任务书	55

3.6.1	幅度调制仿真实验任务书	55
3.6.2	幅度解调仿真实验任务书	56
第4章	实验仪器常用功能简介	58
4.1	EE1641C 型函数信号发生器/计数器	58
4.2	EE1461 型 DDS 合成信号发生器	61
4.2.1	主要技术指标	61
4.2.2	功能说明	62
4.2.3	主要工作模式设置步骤	63
4.2.4	功能按钮的使用	65
4.3	EE5100 矢量网络分析仪	68
4.3.1	主要技术指标	69
4.3.2	功能说明	69
4.3.3	主要功能使用说明	74
4.4	EE4052 频谱分析仪	79
4.4.1	主要技术指标	79
4.4.2	功能说明	80
4.4.3	主要功能使用说明	83
4.5	DR200T2 发射调试标准设备	85
4.6	DR200R1 型射频接收调试设备	86
4.7	NFC-1000C-1 多功能计数器	87
4.8	TPR3005-3C 电源	90
4.9	ADS1102CAL 数字存储示波器	91
4.9.1	功能说明	91
4.9.2	主要功能使用说明	92
4.10	EE5113 型无线电综合测试仪	98
4.10.1	主要功能使用说明	99
4.10.2	电台测试应用	110
第5章	Multisim10 及其使用	118
5.1	基本界面及设置	118
5.2	电路原理图的设计步骤	120
5.3	元器件库的操作	125
5.3.1	元器件库介绍	126
5.3.2	元器件编辑	130
5.4	Multisim10 虚拟仪器及使用	133
5.4.1	数字万用表(Multimeter)	133
5.4.2	函数发生器(Function Generator)	134

5.4.3	瓦特表(Wattmeter)	135
5.4.4	双通道示波器(Oscilloscope)	135
5.4.5	四踪示波器(4 Channel Oscilloscope)	137
5.4.6	波特图仪(Bode Plotter)	138
5.4.7	频率计(Frequency Couter)	139
5.4.8	失真度分析仪(Distortion Analyzer)	139
5.4.9	频谱分析仪(Spectrum Analyzer)	140
5.4.10	网络分析仪(Network Analyzer)	143
5.4.11	仿真 Agilent 仪器	145
5.5	虚拟仪器的应用实例分析	148
5.5.1	单调谐放大器回路	148
5.5.2	射频电路设计	152
5.6	电路分析	154
5.6.1	直流工作点分析(DC Operating Point Analysis)	154
5.6.2	交流分析(AC Analysis)	155
5.6.3	其他电路分析方式	156
第 6 章	通信电子电路的装配与调试	159
6.1	元器件认识	159
6.1.1	电阻	159
6.1.2	电容	166
6.1.3	电感	169
6.1.4	晶体管	171
6.1.5	集成电路芯片	177
6.2	印制电路板常识	180
6.3	元器件的装配与焊接	183
6.3.1	元器件的装配	183
6.3.2	元器件的焊接	185
6.4	通信电子电路的调试	187
6.4.1	电子电路的静态调试	188
6.4.2	通信电子电路的动态调试	188
6.4.3	通信电子电路故障排查	189
参考文献		191

第 1 章 通信电子电路实验系统

根据《通信电子电路》教材中以无线收发机系统为主线为原则,“通信电子电路综合实验”的硬件实验部分以南京新联电讯仪器有限公司开发的实际数传电台(语音/数传通信收发机)为蓝本,建立无线射频通信收发系统,并构成通信电子电路实验箱。本实验可将整机系统分解/组合成不同功能模块,通过调试(装配)、测量的工程实训(实验)过程,读者可理解无线射频通信系统单元板的基本原理,了解无线射频通信系统的基本组成,学习相应射频测试仪器的使用方法,逐步掌握分析问题和解决问题的能力,最终理解无线射频语音/数据通信的原理和应用。

无线射频收发系统包括调频通信收发系统和调幅通信收发系统两大部分,其中调频通信系统工作于百兆赫频段,频道数 8 个,支持标准正弦波、语音和数据信号输入,可做整机实验,也可分解拆卸成子系统模块独立实验;调幅通信系统包含 AM、DSB、SSB 调制及相应的解调,工作于百千赫中波广播频段,分成幅度调制与解调两个子系统模块,两个模块也可以连成一个调幅通信系统,支持标准正弦波、实验音频信号输入。

无线射频收发系统整机电路包含发射单元电路和接收单元电路,整机实验可做语音或数字信号的无线及有线传输,并可考察测试整机指标;各单元电路按功能分成子系统电路模块,可脱离实验箱做单板实验。

发射单元电路包括:①调频发射系统中的模拟语音输入电路、锁相振荡电路(可做 VCO 调频、锁相环、振荡器、锁相调频等实验)、发射功放电路(可做功放实验,测试增益,分析谐波)、FSK 调制解调电路(FSK 调制与解调实验)、微机控制电路 5 个子系统电路;②调幅发送系统中的幅度调制电路(可做 AM、DSB、SSB 调制等实验)。

接收单元电路包括:①调频接收系统中的接收变频电路(可做低噪声放大、混频、滤波器特性、邻道抑制、镜频抑制等实验)、中频解调电路(可做选频放大器频率特性试验、鉴频器等实验)、锁相振荡电路、FSK 调制解调电路和微机控制电路 5 个子系统电路;②调幅接收系统中的幅度解调电路(可做 AM、DSB、SSB 解调等实验)。

1.1 调频通信收发系统组成

调频通信收发系统的组成如图 1-1-1 所示,发射频率 223~224MHz,共分 8 个频道(223.525MHz,223.675MHz,223.725MHz,223.850MHz,223.950MHz,224.025MHz,224.125MHz,224.175MHz),可在“控制单元电路”中进行频道设置。

调频通信发射系统工作过程:语音信号经“语音单元电路”进行放大处理,数据信号可直接送入“FSK 调制单元电路”,也可由 PC 通过串口发送数据到“控制单元电路”然后

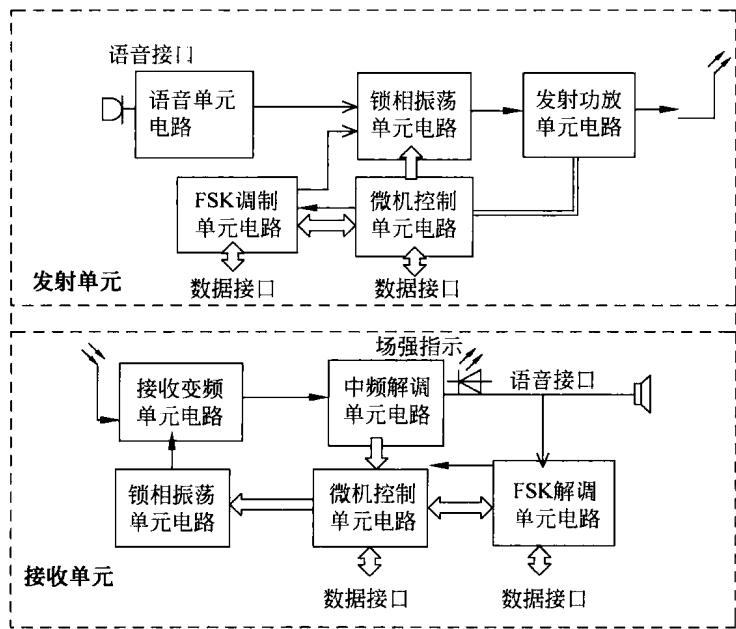


图 1-1-1 调频通信收发系统框图

送入“FSK 调制单元电路”，将数据流信号转换成模拟音频信号，可由 YC2 输出。语音或数据基带信号送入“锁相振荡单元电路”进行频率调制，再由“发射功放单元电路”放大后经 BC2 输出到天线发射，经 BC2 输出的信号也可由相关仪器接收分析。

调频通信接收系统工作过程：从天线接收的射频信号进入“接收变频单元电路”的 BR6 端，通过低噪声放大和变频，由“锁相振荡单元电路”提供本振信号，将射频信号变成 21.4MHz 的中频从 BC4 端输出。21.4MHz 的中频信号送入“中频解调单元电路”经二次变频，成为 455kHz 中频，鉴频解调出的音频信号分为二路，一路通过音频放大电路推动扬声器输出语音信号，若接收有数据信号时，可由另一路送入“FSK 解调单元电路”恢复成数据信号后直接输出，或由“FSK 解调单元电路”恢复成数据信号后经“控制单元电路”输出送到 PC。

1.1.1 语音单元电路

语音单元电路如图 1-1-2 所示。语音单元电路作为语音输入板，充分考虑了当前常用的语音输入电路和处理方法，由运放 LM358 组成预加重电路、音频放大及音频合路器，开关 K_1 可选择对信号进行预加重处理试验。同时，另外准备了一路 BNC 输入，可输入信号发生器或播放器给出的模拟语音信号，便于测试和对比分析，电位器 RP_1 和 RP_2 可调节音频电平参量，用来分析不同电平下的调制参数及其对通信的影响，输出合路后统一送到 AFT_1 ，然后经底板送到其他模块板。

图中， $TP_1 \sim TP_6$ 是为实验设置的测试点，MIC 输入端可外接话筒送入语音信号进行语音发送实验，BNC(BR₁)输入端可外接低频信号发生器模拟音频信号进行相关实验，输入音频信号幅度峰峰值一般应为 100~300mV； AFT_1 作为语音单元电路的输出端，可通过底板总线与锁相振荡单元电路或幅度调制单元电路相连，便于整机的语音传输实验。

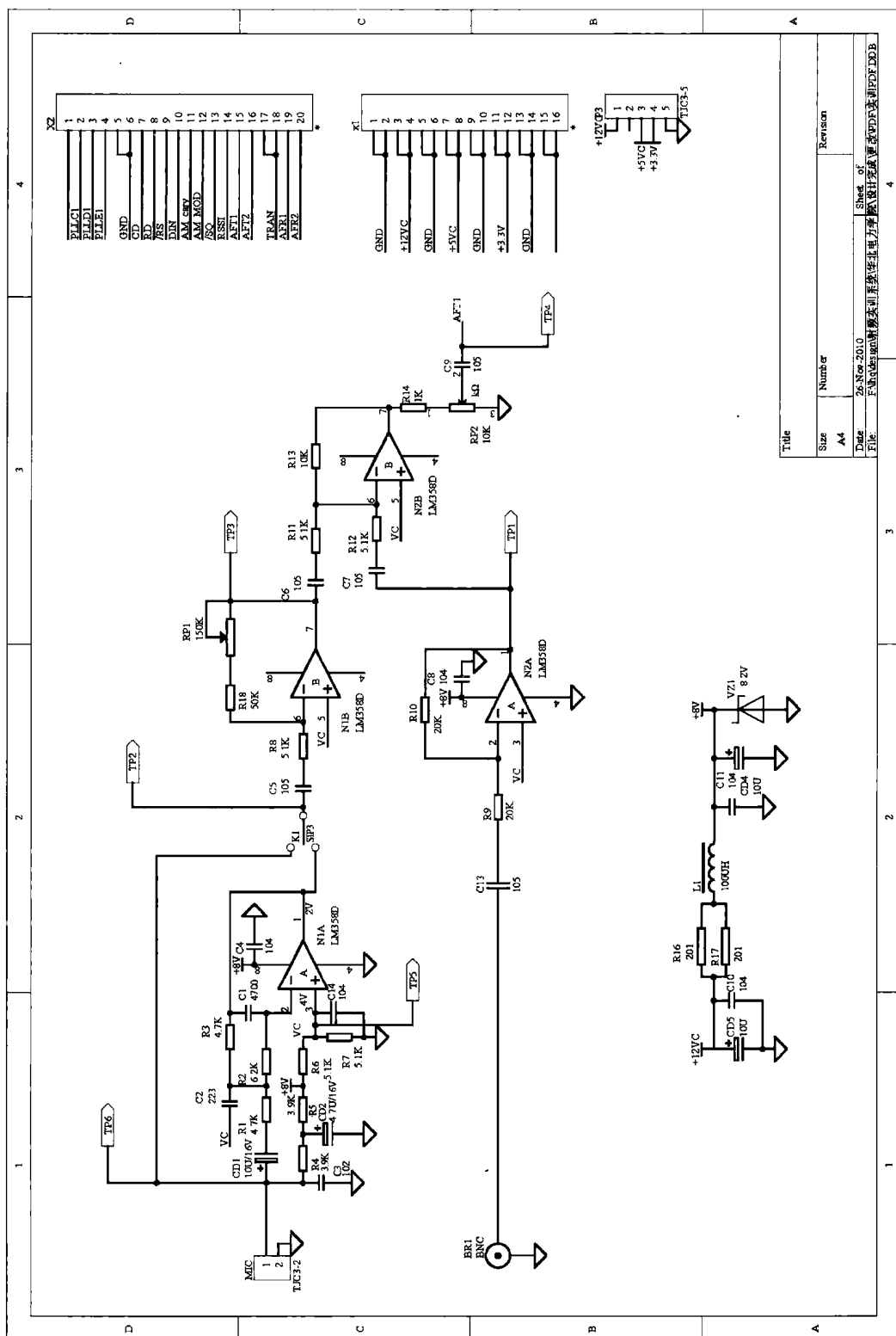


图 1-1-2 语音单元电路

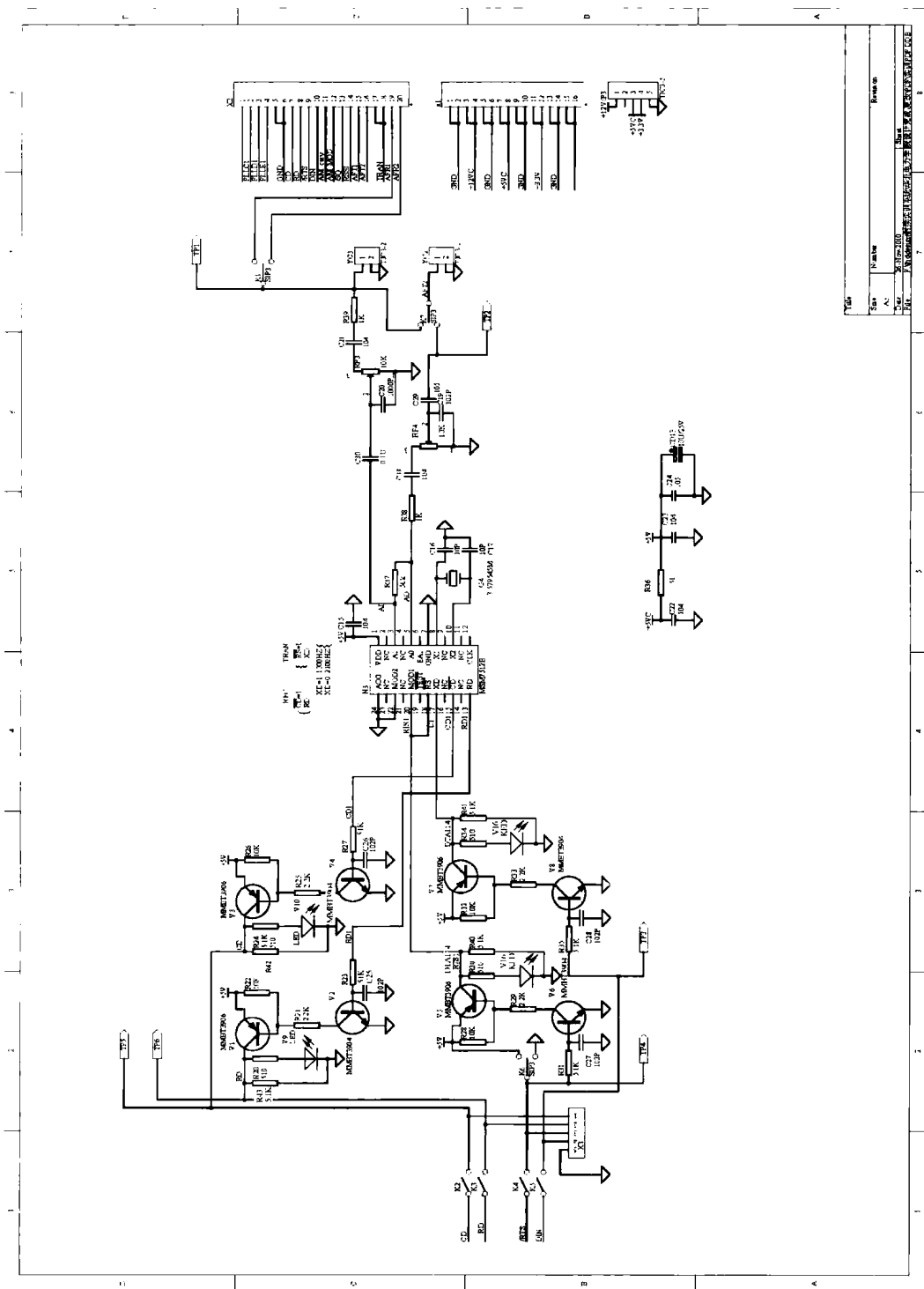


图 1-1-3 FSK 调制解调单元电路

1.1.2 FSK 调制解调单元电路

FSK 调制解调单元电路如图 1-1-3 所示。采用 1200 波特率标准芯片 MSM7512B 方案,将数据流信号转换成模拟音频信号,便于实现调制,同样,模拟音频信号经过 FSK 解调重新恢复成数据流,电位器 RP_4 、 RP_3 分别用来调节输出和输入的模拟量参数,观测信号电平对调制和解调结果的影响(通信时调节使信号最大)。

图中, $TP_1 \sim TP_6$ 是实验设置的测试点,数据信号可从 TP_3 点输入,也可将 K_5 闭合后从微机控制单元电路的数据接口送入, K_7 选择发射模式,FSK 调制信号可由 YC_2 口输出,也可经 K_7 及通过底板总线与 FSK 解调单元电路(FSK 解调板 K_7 选择接收模式)相连直接解调,或由 AFT_2 通过底板总线与锁相振荡单元电路/幅度调制单元电路相连进行调频/调幅,便于整机的数据传输实验。

经调频(由 AFR_1 接入)或调幅(由 AFR_2 接入)系统传输解调后的 FSK 信号可通过 YC_3 输入,或 K_1 选择 FM 或 AM 输入,可在 TP_6 点得到 FSK 解调后的数据信号,此数据信号也可在 K_3 闭合后从微机控制单元电路的数据接口送往 PC。

FSK 调制解调芯片 MSM7512B 符合 V. 23 标准,为低功耗设计;片上具有调制器、解调器和带通滤波器;具有可用于自检的模拟回路,含有 3.579545MHz 晶体振荡电路;数据传输率为 0~1200Bps;电源范围为 +3~+5V;MSM7512B 有 4 种工作模式,其工作模式的选择是由 MOD_2 和 MOD_1 的不同信号组合决定的,当 MOD_2 和 MOD_1 分别为“0”、“0”时为 FSK 发送模式,“0”、“1”时为 FSK 接收和 75Bps 传输模式,“1”、“0”时为模拟环路自测模式,“1”、“1”时为掉电模式。

MSM7512B 主要由发送电路、接收电路、载波检测电路、定时器时钟电路组成,图 1-1-4 为该芯片的片内功能组成框图。

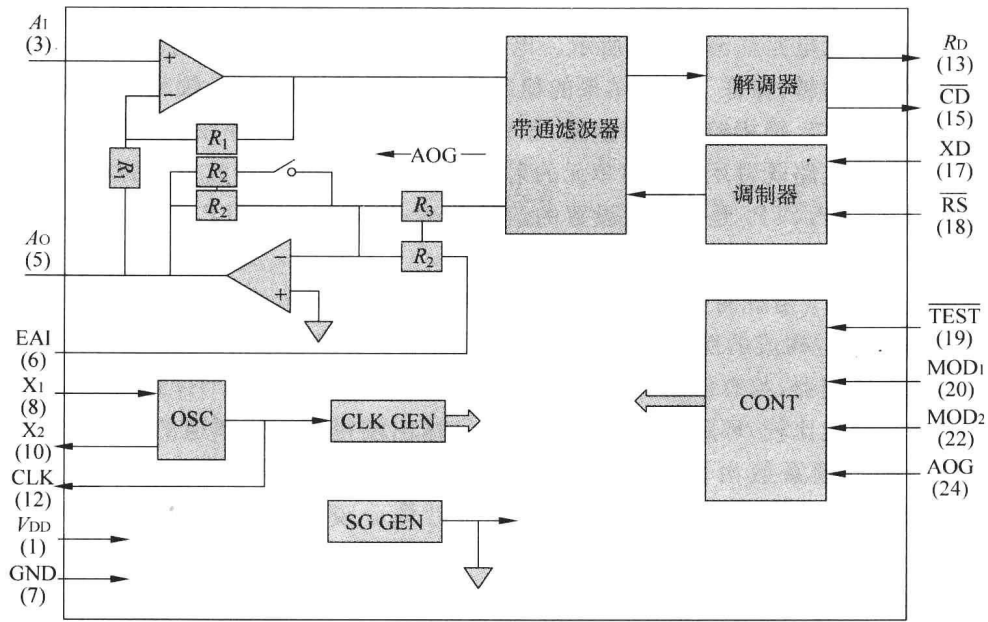


图 1-1-4 MSM7512B 功能框图