

高 等 学 校 教 材

高频电子线路

第 2 版

阳昌汉 主编

阳昌汉 谢 红 宫 芳 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

014002405

TN710.2-43

02-2

高等学校教材

高频电子线路

Gaopin Dianzi Xianlu

第2版

阳昌汉 主编

阳昌汉 谢红 宫芳 编



TN710.2-43
02-2



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1688031

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(阳昌汉主编)的第2版,是根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的“电子线路Ⅱ”课程教学基本要求作为编写教材的依据,遵循“加强基础,强调功能,优选内容,便于学习”的原则,考虑国内外科技发展的需求,并结合编者最近几年的教学改革的研究实践,参考了国内外有关教材,在上一版教材基础上改编而成的。

本书以通信功能电路的“功能”为基点,从通信功能电路的输入信号频谱与输出信号频谱的变换关系出发,在理论上讲清楚各个通信功能电路的基本原理和实现电路的基本方法。本书的内容以模拟通信功能电路为主,对数字信号的调制与解调功能电路、频率合成技术和功率合成技术也有适当的叙述。本书共9章,内容包括绪论、高频基础电路、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调电路、角度调制与解调电路、变频电路和反馈控制电路与频率合成。各章后附有思考题与习题。此外,本书还配有《高频电子线路第2版学习指导与习题解答》和《高频电子线路实验、仿真与设计》可供参考。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程等相关专业的“高频电子线路”、“通信电子线路”、“电子线路Ⅱ”等课程的教材,还可供从事电子系统研制与开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路 / 阳昌汉主编; 阳昌汉, 谢红, 宫芳编. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2013.8
ISBN 978-7-04-037789-7

I. ①高… II. ①阳… ②谢… ③宫… III. ①高频 - 电子电路 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 157599 号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕 版式设计 范晓红
插图绘制 杜晓丹 责任校对 杨雪莲 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	北京玥实印刷有限公司		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm×960mm 1/16	版 次	2006年2月第1版
印 张	25.25		2013年8月第2版
字 数	460千字	印 次	2013年8月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	36.70元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 37789-00

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(阳昌汉主编)的第2版。本书第1版于2006年2月出版,经过多年的教学实践总结,我们认为在教材内容上需要一些增补和删减,以适应教学发展的需要。根据国内外科技发展的需求,并结合我们最近几年的教学改革的研究实践,提出了对高频电子线路教材的修订原则是坚持遵循“加强基础,强调功能,优选内容,便于学习”。将教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的“电子线路Ⅱ”课程教学基本要求作为编写教材的依据,以通信功能电路的“功能”为基点,从电路的输入与输出信号的频谱关系出发,分析各个功能电路的输入频谱与输出频谱变换关系的特征,从理论上讲清楚系统各个功能电路的基本原理和实现电路的基本方法,使学生深刻认识功能电路在信息传输系统中的作用,增强对系统各部分内在关系的认识,培养学生适应新器件、新技术不断更新的能力,从而开发学生的创新思维能力。

1. 强调基本功能电路的“功能”,因为本书的主要内容是讲述通信功能电路的基本原理及其实现方法。对于大规模通信集成电路来说,它是由许多基本功能电路组成的,其中也包含基本的通信功能电路。基本的通信功能电路经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程,但基本功能电路的“功能”是没有变化的。也就是各个功能电路的输入信号与输出信号的频谱变换关系没有变化,电路构成的基本原理不变。通过基本“功能”电路的学习,让学生去研究如何科学、合理地组建系统电路并探索、发现新的功能电路。本书以通信系统为主线,讲述了基本的通信功能电路,强调了基本功能电路的“功能”,加强了各功能电路内容的相互联系,除了对分立元件和集成电路构成的各功能电路进行分析介绍外,还对相应的大规模集成系统电路给予介绍,以供实践应用时参考。全书以功能电路的“功能”划分章节,共为9章,内容包括:绪论、高频基础电路、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调电路、角度调制与解调电路、变频电路以及反馈控制电路与频率合成。由于调制与解调的功能正好相反,并且有密切关系,因而与第1版不同的

是:将原振幅调制电路(原第5章)和调幅信号的解调电路(原第6章)合并为振幅调制与解调电路一章;将原角度调制电路(原第7章)和调角信号的解调电路(原第8章)合并为角度调制与解调电路一章。使功能概念更明确,减少了不必要的重复。

2. 当前射频电路的发展与应用越来越广泛,考虑到高频电路教学向射频高频端的延伸,在高频与射频系统中最大功率传输是个很重要的概念。也就是在频率较高的功能电路组成系统应用电路时,功能电路的输入端和输出端必须考虑阻抗匹配。在本书中增加元器件的电路模型与频率特性及 LC 阻抗匹配网络的相关内容很有必要,这也是高频和射频电路系统研制时所必须关注的问题。本书将无源集总元件的电路模型与频率特性、 LC 串并联谐振回路、阻抗变换电路、信号的功率传输与阻抗匹配网络以及滤波器等基础内容集中列入高频基础电路一章,因为这些基础内容多数在前面课程中不同程度地学过,学生有能力自学。基于课程教学学时有限,教师可以根据教学学时的多少选择讲授内容以及要求学生自学内容。

3. 集成电路的发展很快,学习应用集成电路构建系统电路对学生的能力培养是有效的。本书增选部分与教学内容相关的、经过实践证明性能良好的集成电路的应用实例,期望扩展学生的思路,为学生课外科技实践提供应用参考电路。

4. 本书在习题的选取上,不仅是为了课堂内容的理解与实践,更重要的是启发学生去思考,通过习题去解决实用问题并从中发现问题,因而删去了少量不合适的习题,增加了一些实用性的题目,有些题目是讲课内容的延伸,需要学生去思考研究,让学生从不同角度去分析思考并提出自己的观点。

本书内容以模拟通信功能电路为主,对数字信号的调制与解调功能电路、频率合成技术和功率合成技术也有适当的叙述,可作为通信工程、电子信息工程等相关专业的“高频电子线路”、“通信电子线路”、“电子线路II”等课程的教材。

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的课程。有许多理论知识和实践技能,如实际应用电路的组成、大规模通信集成电路在系统中的应用和测试技术等,还必须在实践中学习。作为高频电子线路课程教学改革内容之一,我们将理论课与实验课的教学做了合理分工,有关集成电路及大规模集成系统电路的应用内容通过实验课和课程设计来完成,并增加了Multisim仿真软件的高频电子线路的设计仿真实验内容,以提高学生的素质和培养创新能力。本书还配有《高频电子线路第2版学习指导与习题解答》及《高频电子线路实验、仿真与设计》。

本书由阳昌汉担任主编。阳昌汉、谢红、官芳参加编写。

本书由华中科技大学严国萍教授担任主审。严教授对本书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,对此我们表示深深的谢意。

限于编者水平,不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。编者邮箱为:yangchanghan@hrbeu.edu.cn。

编者

2013年2月

于哈尔滨工程大学

第1版前言

本书是根据教育部高等学校电子信息科学与工程类专业基础课程教学指导分委员会制定的“电子线路Ⅱ”课程新的教学基本要求,并考虑到科学技术的飞速发展及新器材、新技术不断更新的实际情况,遵循“加强基础,强调功能,优选内容,便于学习”的原则,结合我们多年教学实践,并参考了国内外有关教材,在我们原编写的“高频电子线路”教材基础上改编而成。

本书主要内容是讲述通信功能电路的基本原理及其实现方法。对于大规模通信集成电路来说,它是由许多基本功能电路组成,其中也包含基本的通信功能电路。基本的通信功能电路经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程,但基本功能电路的“功能”是没有变化的,也就是各个功能电路的输入信号与输出信号的频谱变换关系没有变化,因而以通信功能电路的“功能”为基点,从通信功能电路的输入与输出信号的频谱关系出发,分析各个通信功能电路的输入频谱与输出频谱变换关系的特征,从理论上讲清楚组成各个通信功能电路的基本原理和实现电路的基本方法,可以使能够深刻认识功能电路在信息传输系统中的作用,增强对系统各部分的内在关系的认识,培养学生适应新器材、新技术不断更新的能力,从而开发学生的创新思维能力。本书以通信系统为主线,讲述了基本的通信功能电路,加强了各功能电路内容的相互联系,并对集成电路在各功能电路中的应用进行了分析介绍。对一些大规模集成系统电路在对应的章节后以附录形式给予介绍,以供实验应用时参考。

本书内容以模拟通信功能电路为主,对数字信号的调制与解调功能电路、频率合成技术和功率合成技术也有适当的叙述。本书共10章,内容包括:绪论、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、调幅信号的解调、角度调制电路、调角信号的解调电路、变频电路和反馈控制电路。可作为通信、电子信息等专业的“高频电子线路”、“通信电子线路”、“电子线路Ⅱ”等课程的教材。

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的课程。有许多理论知识和

实践技能,如实际应用电路的组成、大规模通信集成电路在系统中的应用和测试技术等,还必须在实践中学习。作为高频电子线路课程教学改革内容之一,我们将理论课与实验课的教学做了合理分工,有关集成电路及大规模集成系统电路的应用内容通过实验课和课程设计来完成,并增加 EDA 的内容,以提高学生的素质,培养创新能力。

本书由阳昌汉担任主编。第一、七、八、十章由阳昌汉编写,第二、五、六章由谢红编写,第三、四、九章由宫芳编写。

本书由华中科技大学严国萍教授担任主审。严教授对本书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,对此我们表示深深的谢意。

限于编者水平,不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

于哈尔滨工程大学

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的基本组成	1
1.2 无线信道及传播方式	3
1.3 无线电发送设备的基本组成	5
1.4 无线电接收设备的基本组成	7
1.5 高频电子线路的研究对象	9
思考题与习题	12
第 2 章 高频基础电路	13
2.1 无源集总元件的电路模型及频率特性	13
2.1.1 电阻器的电路模型及频率特性	13
2.1.2 电容器的电路模型及频率特性	14
2.1.3 电感器的电路模型及频率特性	15
2.2 LC 串并联谐振回路	17
2.2.1 电感、电容元件的高频等效	17
2.2.2 LC 串联谐振回路	17
2.2.3 LC 并联谐振回路	19
2.3 阻抗变换电路	21
2.3.1 串并联阻抗的等效互换	21
2.3.2 并联谐振回路的耦合连接与阻抗变换	22
2.3.3 回路耦合连接的插入损耗	26
2.4 信号的功率传输与匹配网络	28
2.4.1 信号源到负载的功率传输	28
2.4.2 无相移的最大功率传输	29
2.4.3 阻抗匹配网络的要求与分类	29
2.4.4 L 形匹配网络	30
2.4.5 π 形匹配网络	33
2.4.6 T 形匹配网络	37
2.5 滤波器	41

2.5.1 滤波器的分类及功能	41
2.5.2 LC 滤波器	42
2.5.3 陶瓷滤波器与晶体滤波器	43
2.5.4 声表面波滤波器	45
思考题与习题	47
第3章 高频小信号放大器	51
3.1 概述	51
3.1.1 高频小信号放大器的功能	51
3.1.2 高频小信号放大器的分类与用途	51
3.1.3 高频小信号放大器的主要技术指标	51
3.2 晶体管的高频小信号等效电路	52
3.2.1 晶体管的 y 参数等效电路	53
3.2.2 晶体管的混合 π 等效电路	54
3.2.3 晶体管的高频参数	55
3.3 晶体管高频小信号谐振放大器	57
3.3.1 单调谐回路谐振放大器	57
3.3.2 单调谐回路谐振放大器的等效电路及分析	57
3.3.3 单调谐回路谐振放大器的技术指标	59
3.3.4 多级单调谐回路谐振放大器的主要技术指标	64
3.4 小信号谐振放大器的稳定性	66
3.4.1 谐振放大器存在不稳定的原因	66
3.4.2 放大器的稳定系数及稳定增益	66
3.4.3 提高谐振放大器稳定性的措施	69
3.5 场效应管高频放大器	71
3.5.1 结型场效应管高频放大器	71
3.5.2 双栅场效应管高频放大器	71
3.6 线性宽频带集成放大电路	72
3.6.1 线性宽频带集成放大电路	73
3.6.2 线性宽频带集成放大器与集中滤波器构成选频放大器	75
3.7 放大电路的噪声与低噪声放大器	76
3.7.1 放大电路内部噪声的来源和特点	76
3.7.2 噪声电路的计算	79
3.7.3 线性网络的噪声系数及计算	80
3.7.4 接收机的灵敏度与最小可检测信号	86
3.7.5 低噪声放大器	87
思考题与习题	88

第4章 高频功率放大器	93
4.1 概述	93
4.1.1 高频功率放大器的功能	93
4.1.2 高频功率放大器的特点、分类与用途	93
4.1.3 高频功率放大器的主要技术指标	94
4.2 丙类(C类)高频功率放大器的工作原理	95
4.2.1 基本电路及其特点	95
4.2.2 工作原理	96
4.3 丙类(C类)高频功率放大器的折线分析法	97
4.3.1 晶体管特性曲线的理想化及其解析式	97
4.3.2 丙类功率放大器的集电极余弦电流脉冲及各次谐波电流	99
4.3.3 丙类功率放大器的功率与效率	101
4.3.4 丙类功率放大器的动态特性及三种工作状态	102
4.3.5 丙类功率放大器的负载特性	106
4.3.6 各级电压变化对工作状态的影响	107
4.4 丙类高频功率放大电路	110
4.4.1 直流馈电电路	111
4.4.2 阻抗匹配网络原理与计算	112
4.4.3 实际电路举例	122
4.5 丁类(D类)和戊类(E类)高频功率放大器	123
4.5.1 丁类(D类)高频功率放大器	123
4.5.2 戊类(E类)高频功率放大器	125
4.6 宽频带高频功率放大器	127
4.6.1 高频传输线变压器的特性及原理	127
4.6.2 传输线变压器阻抗变换电路	129
4.6.3 宽频带高频功率放大器	132
4.7 功率合成	133
4.7.1 高频功率合成的一般概念	133
4.7.2 功率合成与分配网络	134
4.7.3 功率合成电路	140
本章附录 余弦脉冲分解系数表	141
思考题与习题	144
第5章 正弦波振荡器	148
5.1 概述	148
5.1.1 振荡电路的功能	148
5.1.2 振荡电路的分类及用途	148

5.1.3	振荡电路的主要技术指标	148
5.2	反馈型 LC 振荡原理	149
5.2.1	振荡的建立与起振条件	149
5.2.2	振荡的平衡与平衡条件	150
5.2.3	振荡平衡状态的稳定条件	152
5.3	反馈型 LC 振荡电路	155
5.3.1	互感耦合振荡电路	155
5.3.2	电容反馈振荡电路	156
5.3.3	电感反馈振荡电路	159
5.3.4	LC 三点式振荡器相位平衡条件的判断准则	160
5.4	振荡器的频率稳定原理	161
5.4.1	频率稳定度的定义	161
5.4.2	振荡器的频率稳定度的表达式	161
5.4.3	振荡器的稳频措施	163
5.5	高稳定度的 LC 振荡器	164
5.5.1	电容反馈振荡电路的频率稳定性分析	164
5.5.2	克拉泼(Clapp)振荡电路	165
5.5.3	西勒(Siler)振荡电路	166
5.6	晶体振荡电路	167
5.6.1	石英晶体的等效电路	167
5.6.2	石英谐振器的阻抗特性	168
5.6.3	晶体振荡电路与泛音晶体振荡电路	169
5.7	负阻振荡器	174
5.7.1	负阻的概念	175
5.7.2	负阻振荡原理	176
5.8	集成压控振荡器	177
5.8.1	压控振荡电路	177
5.8.2	MC1648 集成压控振荡电路	177
	思考题与习题	180
第 6 章	振幅调制与解调电路	184
6.1	概述	184
6.1.1	普通调幅波的数学表示式、频谱及功率关系	184
6.1.2	抑制载波的双边带调幅信号和单边带调幅信号	187
6.1.3	振幅调制电路的功能	188
6.1.4	振幅调制电路的分类及基本组成	189
6.1.5	调幅信号的解调电路的功能	190

6.1.6 调幅解调电路的分类与基本组成	191
6.2 低电平调幅电路	191
6.2.1 模拟乘法器调幅电路	191
6.2.2 单二极管开关状态调幅电路	196
6.2.3 二极管平衡调幅电路	198
6.2.4 二极管环形调幅电路	199
6.3 高电平调幅电路	201
6.3.1 集电极调幅电路	201
6.3.2 基极调幅电路	205
6.4 单边带信号的产生	205
6.4.1 单边带通信的优点	205
6.4.2 单边带信号的产生方法	206
6.5 包络检波器	207
6.5.1 检波电路的主要技术指标	207
6.5.2 二极管大信号检波电路	208
6.5.3 二极管小信号检波电路	218
6.6 同步检波器	220
6.6.1 同步检波器的工作原理	221
6.6.2 本地载波的产生方法及不同步的影响	222
6.7 数字信号调幅与解调	223
6.7.1 数字信号调幅的基本原理	224
6.7.2 数字信号调幅的实现方法	224
6.7.3 数字调幅信号的解调方法	225
思考题与习题	226
第7章 角度调制与解调电路	234
7.1 概述	234
7.1.1 角度调制的定义、特点与用途	234
7.1.2 调角波的数学表示式、瞬时频率和瞬时相位	234
7.1.3 调角波的调制指数和最大频移	235
7.1.4 调角波的波形	237
7.1.5 调角波的频谱和频谱宽度	238
7.1.6 角度调制电路的功能	242
7.1.7 调角信号的解调电路的功能	243
7.2 频率调制电路	243
7.2.1 调频电路的分类与要求	243
7.2.2 变容二极管直接调频电路	245

7.2.3 晶体振荡器直接调频	254
7.3 相位调制电路	255
7.3.1 调相电路的分类与要求	255
7.3.2 可变相移法调相电路	255
7.3.3 可变时延法调相电路	259
7.3.4 矢量合成法调相电路	261
7.3.5 间接调频及扩展最大频偏的方法	262
7.4 集成调频发射机	263
7.4.1 MC2831 集成调频发射机	263
7.4.2 MC2833 集成调频发射机	265
7.5 调相信号解调电路(鉴相器)	266
7.5.1 调相信号解调电路的分类与要求	266
7.5.2 乘积型鉴相器	266
7.5.3 门电路鉴相器	271
7.6 调频信号解调电路(鉴频器)	271
7.6.1 调频信号解调电路的分类与要求	271
7.6.2 双失谐回路鉴频器	272
7.6.3 相位鉴频器	274
7.6.4 比例鉴频器	280
7.6.5 相移乘法鉴频器	282
7.6.6 脉冲均值型鉴频器(脉冲计数式鉴频器)	285
7.7 数字角度调制与解调	286
7.7.1 数字频率调制与解调	286
7.7.2 数字相位调制与解调	288
思考题与习题	292
第8章 变频电路	300
8.1 概述	300
8.1.1 变频电路的功能	300
8.1.2 变频器的组成、分类与用途	301
8.1.3 变频器的主要技术指标	302
8.2 晶体管混频器	303
8.2.1 晶体管混频器的工作原理	303
8.2.2 晶体管混频器的等效电路	306
8.2.3 具体电路和工作状态的选择	307
8.3 场效应管混频器	309
8.3.1 结型场效应管混频器	309

8.3.2 双栅绝缘栅场效应管混频器	310
8.4 二极管混频电路	311
8.4.1 二极管平衡混频器	311
8.4.2 二极管双平衡混频器与环形混频器	314
8.5 模拟乘法器混频器	318
8.5.1 MC1596G 模拟乘法器混频器	318
8.5.2 SA602A 集成变频器	319
8.6 混频器的干扰与失真	321
8.6.1 信号与本振的组合频率干扰(干扰哨声)	322
8.6.2 外来干扰与本振的组合频率干扰(副波道干扰)	323
8.6.3 交叉调制干扰(交调失真)	324
8.6.4 互调干扰(互调失真)	325
8.6.5 包络失真与强信号阻塞	326
8.7 集成接收机电路	326
8.7.1 TA7641BP 单片收音机集成电路	326
8.7.2 MC3362 单片调频接收机	328
思考题与习题	330
第9章 反馈控制电路与频率合成	333
9.1 概述	333
9.1.1 自动振幅控制电路	333
9.1.2 自动频率控制电路	334
9.1.3 自动相位控制电路	335
9.2 自动相位控制电路(锁相环路)	335
9.2.1 锁相环路的组成及基本原理	335
9.2.2 环路“锁定与失锁状态”和“跟踪与捕捉过程”的基本概念	341
9.2.3 锁相环路的跟踪特性	344
9.2.4 锁相环路的频率特性	348
9.2.5 锁相环路的应用	350
9.3 频率合成器	355
9.3.1 频率合成器分类及主要技术指标	355
9.3.2 直接频率合成器	356
9.3.3 锁相频率合成器	358
9.3.4 集成锁相频率合成器	363
9.3.5 直接数字频率合成器(DDS)	372
9.4 自动频率控制电路	374
9.4.1 自动频率控制电路的工作原理	374

9.4.2 自动频率控制电路的应用	375
9.5 自动增益控制电路	377
9.5.1 AGC 电路的工作原理	377
9.5.2 AGC 电路的分类	379
思考题与习题	380
参考文献	384

第1章 绪论

1.1 通信系统的基本组成

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科之一,它在人类的技术发展中起着极为重要的作用。信息的产生、存储、传输、处理和应用等密切相关的技术得到了高速发展,人类已进入信息化社会,通信系统的应用已非常广泛。通常将能完成信息传输任务的系统称为通信系统。一个通信系统应由输入变换器、发送设备、传输信道、接收设备和输出变换器五个基本部分组成。图 1.1.1 是通信系统的组成方框图。其中,输入变换器的功能是将输入信息变换为电信号。当输入信息为非电量(例如,语言、音乐、文字、图像等)时,输入变换器是必要的,它将非电量的信息变换为电信息。当输入信息本身就是电信号(例如,计算机输出的二进制信号、传感器输出的电流或电压信号等)时,在能满足发送设备要求的条件下,可不用输入变换器,而直接将电信号送给发送设备。输入变换器送给发送设备的电信号应反映原输入的全部信息,通常称此信号为基带信号。基带信号由于频率为低频且相对频带较宽,直接通过传输信道传输,因此在多路通信、有效传输等方面存在难以克服的困难。需要将基带信号送给发送设备,将其变换成适合信道传输的高频调制信号,通过信道传输到接收设备。例如,无线电波的自由空间信道就不适合基带信号的直接传输,需将基带信号经发送设备变换成适合于无线信道传输的高频调制信号,通过无线信道传输。传输信道是信号传输的通道,它可以是平行线、同轴电缆或光缆,也可以是传输无线电波的自由空间或传输声波的水等。接收设备是将发送设备发出的信号经信道传输到接收设备,由接收设备将高频调制信号变换成基带信号送给输出变换器。输出变换器的功能是将接收设备输出的电信号变换成原来的信息,如语言、音乐、文字、图像等。

图 1.1.1 所示是一个单向的通信系统。实际上,许多通信系统都是双向的,也就是通信双方都有发送设备和接收设备,通过同一信道完成信息发射和信息接收的功能。