

主 编 孙景琪
副主编 曹小秋 周洪直

通信广播 电路原理 与应用

TONGXIN
GUANGBO DIANLU YUANLI
YU
YINGYONG

北京工业大学出版社

通信广播电路原理与应用

主 编 孙景琪

副主编 曹小秋 周洪直

北京工业大学出版社

内 容 摘 要

本书是在《通信、广播电路与系统》一书的基础上增删修改而成,全书共分13章,比较系统而详实地讨论了通信广播收发系统的组成、信号的流通与变换,分析了小信号高频放大器、各种调制器、解调器、振荡器、高频功率放大器、混频器及各种反馈控制电路等的工作原理与电路结构,同时也对S参数及相关知识作了介绍。全书内容充实,说理清晰,理论联系实际,学以致用。

本书可用作无线电技术、电子信息工程、通信工程、测控技术与电子测量、生物工程等相关专业的本科生及专科生的教材,也可供相关专业技术人员作参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信广播电路原理与应用/孙景琪主编. —北京:
北京工业大学出版社, 2003.9
ISBN 7-5639-1272-X

I. 通... II. 孙... III. ①通信系统—电路理论—高等学校—教材②广播系统—电路理论—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第052273号

通信广播电路原理与应用

主 编 孙景琪

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编: 100022 电话: (010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2003年8月第1版 2003年8月第1次印刷

787 mm × 1 092 mm 16开 27印张 657千字

印数: 1~2500册

ISBN 7-5639-1272-X/T·209

定价: 42.00元

前 言

本书是在《通信、广播电路与系统》一书（1994年北京工业大学出版社）的基础上修订改编而成，原书作为本科教材已在北京工业大学、内蒙古工业大学等多个本科专业的教学中使用，受到广大学生和同行的好评。该教材1997年获北京市教学科研二等奖。随着电子技术的飞速发展，特别是通信、广播事业的突飞猛进，对原书作较彻底的修订与改编已势在必行。为了与相关专业课程名称相适应，并体现本书的特点，本书书名改为《通信广播电路原理与应用》，除原书作者孙景琪教授外，又增加了曹小秋教授和周洪直高级工程师。这几位教师均有数十年从事高频电路、通信系统、电视原理等课程的教学及其相关科学研究工作之经历，并具有电子产品特别是高频电子产品的开发经验，这些经历与经验为本书的编写奠定了坚实的基础。

本书是一本介绍现代通信、广播电路中常用的高频电子电路工作原理、电路结构、分析方法、系统组成、信号流通与变换等内容的教材。编写过程中，作者参照国内外同类教材的特点，并将自己多年来的教学经验和电子线路设计体会融入到教材的内容中。本书主要内容包括通信系统与信号、导线和元件的高频特性、集成高频电路片外滤波、匹配电路、小信号高频放大器、放大电路的噪声、非线性电路分析方法、高频功率放大器、正弦波振荡器，振幅调制及其解调、角度调制与解调、混频、反馈控制电路、通信系统简介等主要内容，共13章。本书的编写特别注意与加强如下几个侧面：

1. 加强单元电路与通信、广播系统的联系

随着高频集成电路的开发与应用，单片接收机、单片发射机、单片电视机等已大量涌现。在这些整机设备中，电路与系统已密不可分，一张整机电路图中，除了集成电路与片外元件外，已很难看到晶体管等分立器件。因此，没有系统知识，没有整机组成概念，是很难弄清各单元电路在整机中的位置与作用。为此，本书的第一章就这一内容加强论述，最后一章又以实际收、发系统及整机实例对所学各单元电路作了总结，达到前后呼应的效果。

2. 加强通信系统中信号的论述

信号是电路系统处理的对象，信号不同，相应的电路与系统也不同，了解并掌握通信系统中的各种信号是十分重要的。为此，本书非常重视对AM、FM、PM等各主要信号的波形、表达式及频谱的分析与讨论，特别是这些信号在通信、广播系统中的流通与变换过程。在学习、设计、调测、维修集成化的通信、广播整机系统时，掌握信号的性质及其流通过程会起到事半功倍的效果。

3. 加强理论与实践的结合，注意实际电路的论述

本书在理论与实践相结合方面作了许多努力与尝试，书中既重视基本理论、基本方法的

阐述, 也注意这些电路的实际应用。所涉及的电路绝大多数来自实际通信、广播系统, 来自集成化的整机电路, 来自常用集成芯片的内部电路, 取材力求典型、实用和新颖, 尽可能使读者在经过这一课程的学习后, 能在电路读图能力方面有较大的提高。

4. 加强高频集成电路片外元器件及组件的讨论

在近代的通信、广播电路系统中, 集成化已成为趋势, 系统中的大部分或绝大部分已集成在一块或多块集成芯片之中。但作为选频、滤波、匹配等部件及某些 R 、 L 、 C 元件仍独立在集成芯片之外, 为适应这种系统的教与学, 参考国外有关教材及课程设计与毕业设计等的需要, 本书的第二、第三章就这些内容作了较为详尽的论述, 这两章内容在国内同类教材中尚不多见。教学中可作简单介绍或跳过这两章, 也可将其作为扩展知识和工程设计资料处理。

5. 增加了 S 参数的论述

随着高频电路设计技术的进展与测试手段的现代化, 本书增加了 S 参数及相关的 Smith 圆图等内容, 并结合实例介绍一些设计方法。

在本书的编著与出版过程中, 北京师范大学匡锦瑜教授就本书内容提出过建设性意见, 北京工业大学张印春高工、王铁流教授、华有年教授、白晓东教授、刘津瑜编审、汪啸云高工等对本书的改版给予了宝贵支持与帮助, 在此谨向他们表示真诚的谢意。孙京、李崑、张鑫、侯晓乔、陈衍、李梅等同志为书稿的审校、绘图、计算机录入、修正、排版等付出了辛勤劳动, 在此向他们和为本书的出版给予大力支持与帮助的人们表示最衷心的感谢。

由于作者水平所限, 书中会存在一些缺点和错误, 恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 通信系统与信号	1	一、概述	35
§ 1-1 通信系统	1	二、基本分析	37
一、通信概念	1	三、行波与驻波	39
二、通信系统中的调制与解调	1	四、传输线的应用	40
三、通信系统模式	3	§ 2-3 宽频带传输线变压器	43
四、通信系统模式举例	4	一、1:1 宽频带传输线变压器	43
五、通信系统的主要特性	7	二、传输线宽频带阻抗变换器	44
六、通信系统的频段划分	8	三、功率合成器与功率分配器	49
§ 1-2 通信系统中的基本信号	8	§ 2-4 Smith 圆图	50
一、电信号	8	一、Smith 圆图的导出	50
二、信号的表示方法	9	二、主要表征参数	52
三、常用周期信号的波形与频谱	11	§ 2-5 电阻器	53
§ 1-3 调幅信号及其频谱	13	一、常用电阻器及其分类	53
一、普通调幅信号	13	二、电阻器的等效电路	54
二、抑制载频的双边带调幅信号	17	三、电阻器数值表示法	55
三、单边带调幅信号	18	§ 2-6 电感器及其高频特性	57
四、残留边带调制信号	19	一、空心线绕电感器的计算公式	57
§ 1-4 调角信号及其频谱	20	二、电感器的寄生电容	58
一、调频及调相信号	20	三、电感线圈的损耗	60
二、调角信号的频谱	21	四、磁芯线圈	62
§ 1-5 数字调制信号及其频谱	23	五、电路中使用的电感器举例	64
一、振幅键控信号及其频谱	24	§ 2-7 电容器及其高频特性	68
二、频率键控信号及其频谱	25	一、电容器的频率特性	68
三、相位键控信号	26	二、电容器的串、并联等效电路	70
§ 1-6 多路通信及已调信号的比较	27	三、常用的普通电容器	70
一、频分多址、时分多址和码分多址	27	四、贴片式电容器	71
二、已调信号的比较	29	习题	74
习题	31	第三章 集成高频电路片外滤波、	
第二章 无源网络元件的高频特性	33	匹配部件	77
§ 2-1 导线	33	§ 3-1 单调谐回路	77
一、导线及导线的高频电阻	33	一、串联谐振回路	77
二、直导线电感	35	二、并联谐振回路	82
§ 2-2 传输线	35	三、信号源与负载对回路接入的	

影响及解决办法	85	§ 4-4 小信号调谐放大器	134
四、常用的阻抗变换接入电路	86	一、概述	134
§ 3-2 双调谐回路	89	二、小信号单调谐放大器	135
一、基本结构	89	三、双调谐放大器	137
二、双调谐回路的谐振特性	90	四、多级小信号高频放大器	139
§ 3-3 石英晶体谐振器与滤波器	93	五、参差调谐放大器	141
一、石英晶体的特性与石英谐		§ 4-5 双栅场效应管高频放大器	143
振器的等效电路	93	一、结型场效应管高频放大器	143
二、石英晶体滤波器	97	二、双栅场效应管高频放大电路	144
§ 3-4 陶瓷滤波器	99	§ 4-6 调谐放大器的稳定性	144
一、陶瓷滤波器的等效电路	99	一、调谐放大器不稳定的原因	145
二、陶瓷滤波器的应用	99	二、放大器的林维尔稳定系数	145
§ 3-6 声表面波滤波器	100	三、提高放大器稳定性的措施	146
一、声表面波滤波器的基本工作原理	101	§ 4-7 S 参数及其应用	148
二、声表面波滤波器的等效电路	102	一、 S 参数的定义	148
三、声表面波滤波器典型参数表	102	二、由 S 参数导出网络的	
四、应用举例	102	部分性能参量	151
§ 3-7 螺旋滤波器	103	三、三端口网络和不定散射参数	153
一、螺旋滤波器的基本原理	104	四、参数互换	154
二、螺旋滤波器的设计	105	§ 4-8 用 S 参数设计小信号放大器	157
§ 3-8 匹配网络	108	一、置端条件的作用	157
一、 L 型两元件匹配网络	108	二、置端补偿等功率增益圆	158
二、两元件的导抗匹配	110	三、放大器等功率增益圆	162
三、三元件的 π 型匹配网络	114	四、对小信号调谐放大器的定量分析	164
四、三元件的 T 型网络	117	习题	166
习题	118	第五章 放大电路的噪声	169
第四章 小信号高频放大器	121	§ 5-1 概述	169
§ 4-1 概述	121	一、噪声	169
一、宽带、窄带小信号高频		二、噪声的来源	169
放大器综述	121	§ 5-2 起伏噪声	170
二、宽带、窄带小信号高频		一、电阻及阻抗的热噪声	170
放大器电路	122	二、阻抗回路的热噪声	171
三、小信号高频放大器的分析	122	§ 5-3 晶体管与场效应管的噪声	174
§ 4-2 晶体管的高频等效电路	123	一、晶体管的噪声	174
一、晶体管混合 π 型等效电路	123	二、场效应管的噪声	175
二、晶体管网络参数等效电路	125	§ 5-4 噪声系数	176
三、 Y 参数与混合 π 型参数的关系	127	一、信号噪声比	176
四、晶体管高频特性的几个频率参数	128	二、噪声系数	177
五、场效应晶体管的等效电路	130	三、 N_F 与额定功率及额定	
§ 4-3 小信号宽频带放大器	130	功率增益的关系	178
一、级联组合放大器及负反馈		四、无源两端网络的噪声系数	178
放大电路	131	五、噪声温度	179
二、电感串并联补偿宽频带放大器	132	六、多级网络的噪声系数	179

七、接收机的灵敏度	181	§ 7-5 宽频带高频功率放大器	226
§ 5-5 放大器的噪声系数	181	一、概述	226
一、晶体管共发射极放大器的 噪声系数	181	二、功率合成与功率分配技术	226
二、场效应管放大器的噪声系数	183	三、功率合成与分配实例	230
三、差分放大电路的噪声系数	184	§ 7-6 包络消除与恢复功率放大器	233
§ 5-6 线性系统低噪声设计的考虑	185	一、原理框图	233
一、低噪声放大器的设计考虑	185	二、工作过程	233
二、接收机低噪声设计考虑	186	§ 7-7 晶体管功率放大器的高频 效应	234
习题	186	一、概述	234
第六章 非线性电路分析方法	188	二、基区渡越时间的影响	234
§ 6-1 概述	188	三、晶体管电阻 $r_{bb'}$ 的影响	235
一、通信系统中信号的频率变换	188	四、饱和压降 V_{ce} 的影响	235
二、频率变换的实现	189	五、引线电感的影响	235
三、典型非线性元件特性	191	§ 7-8 晶体管倍频器	235
§ 6-2 模拟乘法器的分析	191	一、概述	235
一、概述	192	二、倍频电路与工作原理	236
二、可变跨导式模拟乘法器的 基本原理	192	三、负载回路的滤波作用	236
三、单片通用集成化模拟乘法器	196	习题	237
四、高性能模拟乘法器	198	第八章 正弦波振荡器	240
§ 6-3 非线性电路分析方法	199	§ 8-1 概述	240
一、概述	199	§ 8-2 振荡器的基本工作原理	241
二、幂级数分析法	199	一、问题的引入	241
三、时变参量分析法	202	二、起振条件	242
四、折线分析法	203	三、平衡条件	243
五、开关函数分析法	206	四、稳定条件	243
习题	207	五、偏置电路对振荡性能的影响	245
第七章 高频功率放大器	209	六、晶体管变压器耦合振荡电路	247
§ 7-1 概述	209	§ 8-3 三点式 LC 正弦波振荡电路	248
§ 7-2 调谐功率放大器	210	一、三点式振荡器的组成原则	248
一、基本电路	210	二、电感三点式振荡电路(哈特莱电路)	249
二、折线分析法	211	三、电容三点式振荡电路(考毕兹电路)	250
三、调谐功放的负载特性	214	四、串联改进型电容三点式振荡电路 (克拉泼电路)	252
四、工作状态的计算	215	五、并联改进型电容三点式振荡器 (西勒电路)	253
五、放大器工作状态及导通角的调整	217	六、三点式振荡电路实例	254
§ 7-3 调谐功率放大器电路	219	七、用 S 参数分析晶体管分布 参数的影响(量化分析)	255
一、直流馈电电路	219	§ 8-4 差动对管及场效应管振荡电路	257
二、输出电路和级间耦合电路	220	一、变压器耦合式差动对管振荡电路	257
三、实际电路举例	221	二、双稳态式差动对管振荡电路	258
§ 7-4 丁类(D类)高频功率放大器	222	三、场效应管振荡电路	258
一、概述	222		
二、电压开关型电路	224		

§ 8-5 LC 振荡器的频率稳定度	259	二、指标分析	295
一、频率稳定度概述	259	三、并联型二极管包络检波电路	298
二、频率不稳定的分析	260	四、高频数码信号的检波	298
三、提高频率稳定度的措施	261	§ 9-6 平方律检波	299
§ 8-6 石英晶体振荡器	263	§ 9-7 检波电路实例	300
一、石英谐振器简介	263	一、广播收音机中的检波电路	300
二、石英晶体振荡电路	264	二、集成同步检波电路	301
三、石英晶体振荡电路举例	266	§ 9-8 正交幅度调制与解调	301
§ 8-7 RC 正弦波振荡器	268	一、概述	301
一、RC 选频网络	268	二、正交幅度调制的电路组成框图	302
二、文氏电桥振荡电路	269	三、正交调幅信号的解调	303
§ 8-8 压控振荡器 (VCO)	270	习题	303
一、变容管压控振荡器的基本 工作原理	270	第十章 角度调制与解调	308
二、应用实例	271	§ 10-1 概述	308
§ 8-9 负阻振荡器	272	§ 10-2 变容管直接调频	310
一、概述	272	一、变容管的特性	311
二、负阻振荡原理	274	二、变容管作调频器件的分析	312
三、用负阻观点讨论 LC 反馈振荡器	274	三、电路举例	313
§ 8-10 正弦波振荡器的设计考虑	275	§ 10-3 其他类型直接调频	314
一、选择振荡电路	275	一、晶体振荡器直接调频	314
二、选择振荡管	275	二、非正弦波直接调谐	315
三、偏置电路的确定	276	§ 10-4 调相法 (由调相→调频)	316
四、振荡回路参数的确定	276	一、间接调频	316
习题	277	二、移相法调相	317
第九章 振幅调制及其解调	280	三、可变时延法调相 (脉冲调相)	318
§ 9-1 振幅调制的方法与电路	280	§ 10-5 调角信号解调概述	319
一、乘法器调幅电路	281	一、对角度解调器的主要要求	319
二、OTA 调幅电路	281	二、鉴频的主要方法	319
三、开关型调幅电路	282	§ 10-6 鉴相器 (相位检波器)	322
四、晶体管调幅电路	284	一、正交乘积型鉴相	322
§ 9-2 单边带调幅与残留边带调幅	287	二、大信号门电路鉴相原理	323
一、单边带调制 (SSB) 的特点	287	§ 10-7 失谐回路鉴频器	323
二、单边带信号产生的方法	288	§ 10-8 集成差动峰值鉴频器	325
三、残留边带调幅 (VSB)	289	一、原理框图	325
§ 9-3 振幅解调概述	289	二、线性变换网络	325
§ 9-4 同步检波	291	三、电路举例	326
一、概述	291	§ 10-9 集成相移乘法鉴频器	327
二、参考信号 v_r 的产生	292	一、相位比较器 (即鉴相器)	327
三、叠加型同步检波器	292	二、移相网络	327
四、典型电路	293	三、电路举例	329
§ 9-5 包络检波	294	四、陶瓷谐振器移相电路	330
一、工作原理	295	§ 10-10 限幅器	330
		一、二极管限幅器	331

二、差动对管限幅器	332	一、AGC 的目的与要求	362
§ 10-11 数字信号调相与解调	332	二、带有 AGC 电路的调幅接收机框图	362
一、数字信号的相位调制	332	三、控制放大器增益的方法	363
二、两相调相信号 (2PSK) 的解调	335	四、AGC 电路举例	366
习题	336	§ 12-3 自动频率控制 (AFC)	367
第十一章 混频	339	一、AFC 原理框图	367
§ 11-1 概述	339	二、AFC 系统应用框图举例	368
一、混频与变频	339	§ 12-4 锁相环路的基本组成及 数学模型	369
二、对混频器的主要要求	340	一、锁相环路的基本组成	370
三、混频器的分析方法	340	二、鉴相器	370
§ 11-2 晶体管混频器	341	三、环路滤波器	371
一、基本电路	341	四、压控振荡器 (VCO)	372
二、混频原理	341	五、锁相环路的数学模型	372
三、混频器的主要参数	343	§ 12-5 锁相环路的基本分析	375
四、实例	344	一、线性化后的环路方程	375
§ 11-3 场效应管混频器	345	二、一阶、二阶锁相环路	376
一、混频原理	346	§ 12-6 锁相环路的应用	377
二、场效应管混频 (变频) 电路	347	一、锁相环路的主要特点	377
三、场效应管混频电路的特点	348	二、频率合成器	377
§ 11-4 集成混频电路	348	三、直接式数字频率合成器 (DDS)	379
一、简单的差动对管混频电路	348	四、锁相混频	382
二、双差动对管模拟乘法混频电路	349	五、锁相调频与鉴频	382
三、ULN-2204A 单片收音机混频及 本振电路	350	六、调相波、调幅波的锁相解调	384
四、MC1596 乘法器构成的混频 (变频) 电路	351	七、锁相环路在工业生产上的应用	385
§ 11-5 组合频率干扰及非线性 失真	351	习题	385
一、组合频率干扰	352	第十三章 通信系统简介	387
二、寄生频道干扰 (组合副波道 干扰)	352	§ 13-1 概述	387
三、非线性失真	353	一、单元电路与系统	387
四、减小干扰和失真的措施	354	二、集成电路与系统	387
§ 11-6 零中频频谱变换	355	三、信号与系统	388
一、零中频接收机	355	四、读图与系统的关系	388
二、软件无线电中的零中频接收	356	五、读图要则	388
习题	357	§ 13-2 发射机	390
第十二章 反馈控制电路	360	一、调幅发射机	390
§ 12-1 概述	360	二、调频发射机	392
一、常用的反馈控制	360	三、调频、调幅发射机实例	393
二、自动控制系统的模式	360	四、低功率单片调频发射机 (MC 2831、 MC 2833)	394
三、分析方法	361	五、调频立体声广播发射机	397
§ 12-2 自动增益控制 (AGC)	361	§ 13-3 接收机	399
		一、超外差接收机组成框图	400
		二、接收机的性能	401

三、单边带接收机	403	§ 13-5 调幅、调频收发模块	410
四、锁相接收机	403	一、F05A 型无线发射模块	410
五、调频立体声广播接收机	404	二、TWH9000 系列遥控收发组件	412
六、MC 3362 单片调频接收机	405	三、T5W 型调频无线电收发组件	412
§ 13-4 无线寻呼机及双频手机的		四、JF820C/JF821C 型无线电遥控组件	414
电路组成	407	习题	414
一、无线寻呼机 (BP 机) 组成框图	407	附录	417
二、双频手机的电路组成框图	408	参考文献	418

第一章 通信系统与信号

在前言中，已经提到在集成高频电路和设备中，系统的概念是十分重要的，没有系统的知识，就不知道集成块内部电路及整机设备组成的目的与意图，也就失去了讨论问题的目标与方向。

至于信号则是分析电路与系统的基础，不同的信号、不同的处理要求，则所需的电路就不一样。有关信号的详细分析，读者可参阅《信号与系统》等有关书籍，本书为了系统性和阅读的方便，仍要在本章内对所用信号作简略的分析与介绍，读者如果已掌握了这方面的知识，则可跳越过去。

§ 1-1 通信系统

一、通信概念

通信就是把甲方的信息（消息）不失真的传送到乙方，使乙方明白甲方意图的过程。

人们的对面交谈就是一种最简单的通信；信件、邮包的寄送也是一种通信。当然，这种简单的通信方式已远远不能满足近代通信的要求。目前，从信息的种类来看，有声音、文字、图像、数码等；从通信的距离来看，已由国内、国际的远、近距离通信发展到卫星通信、星际通信；从通信的传输方式来看，有无线通信与有线通信；从通信的对象来看，除人与人之间的通信外，还出现了机器与机器之间（如计算机之间）的通信及人与机器间的人机对话。在计算机迅速发展与大量应用的今天，通信更显示出它的重要性。

众所周知，近代通信早已使用了电通信的方式，这种通信系统即为电信系统。随着科学技术的发展，光通信时代已经到来。

简而言之，所谓通信系统，即为用电信号（或光信号）来传输信息的系统，它一般由接收、发送及信道等几大部分组成。广而言之，广播、电视也是一种通信，同样是将一种或多种信息由发射端传送至接收端的每个用户。

二、通信系统中的调制与解调

在通信、广播、遥控、遥测等许多系统中，调制与解调是必不可少的两大部件，即便是最简单的收、发系统也均如此，下面对此问题作一简单讨论。

1. 为什么要调制与解调

人们要问，在通信系统中能否将要传送的信息，如声音、图像、文字、数码等的电信号

(称基带信号) 直接用天线以电磁波的形式向空间辐射呢? 答案是否定的。其主要原因有两点:

第一是天线的有效发射与接收。基带信号的频率范围太宽且最低频率过低, 故其波长太长。例如声音信号, 其频率范围为 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$, 对应的波长为 $15\,000\text{ m} \sim 15\text{ km}$; 又如我国电视图像信号, 其频率范围为 $0 \sim 6\text{ MHz}$, 对应的波长为无穷大至 50 m 。根据天线理论, 可以证明, 天线能有效辐射或有效接收电磁波的条件, 是天线的尺寸应与被辐射信号的波长相比拟。因此, 对于上述波长的声音信号或图像信号, 是很难由天线作有效的辐射或接收的。为此, 只能将这些要传送的基带信号频率提到足够高, 使它的波长变到足够短, 以便于天线的制作。

另一个原因是为了实现信号的多路传输。因为各种信息的电信号, 它们的频谱有相当一部分是重叠的, 甚至是完全重叠的, 即使能将它们辐射到空间去, 则各信号的电磁波必定混叠在一起, 相互干扰, 接收者将无法选取所需的信号。因此, 无线电通信(包括有线传输中的某些通信与广播)均设法将要传送的基带信号调制到(装载到)一个频率较高或很高的高频信号上去, 由高频电磁波将基带信号“携带”到空间去, 就像用火车运送货物差不多, 而且, 人们还可以选用不同频率的高频电磁波, 以避免它们之间的相互干扰, 使接收者很容易选出所需之信号。例如, 中波广播、电台的载频(即高频)有的为 640 kHz , 有的为 828 kHz , 也有的为 $1\,180\text{ kHz}$; 又如电视广播, 第二频道的图像载频为 57.75 MHz , 第二频道的伴音载频为 64.25 MHz , 二者相差 6.5 MHz 等。

发送端(电台)既然要将所需传送的基带信号(音频、视频、数码等)的频率搬移到一个频率较高的载频上去, 接收机就应该将所需信号从载频上解调出来(检出、恢复出)。这一调一解是通信广播系统中不可缺少的两大过程。

2. 怎样实现调制

如何利用高频信号“携带”所需发送的信号呢? 或者说, 如何将这些信号的频率升高到某一值, 而又保持信号本身的性质呢? 由傅里叶变换中的频谱搬移特性可知, 任何信号如果乘上一个高频余弦信号(或正弦信号), 则可将这一信号的频谱不失真地搬移到该高频信号的频率两侧。这一频谱搬移的理论就是幅度调制的基础。

上面提到的“携带”就是调制的概念, 其中的高频信号(电压或电流)通常为正弦或余弦信号, 它的瞬时表达式为

$$v(t) = V_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1-1)$$

式中, V_m 为振幅, ω_0 为角频率, φ_0 为初相角, 它们是正弦信号的三大参量。

如果用要传送的基带信号去控制上述 3 个参量之一, 使其按照基带信号的变化规律而变化, 则就实现了调制。通常称基带信号为调制信号, 称高频信号为载频信号或载波。

3. 调制方式分类

根据调制信号控制高频信号 3 个参量的不同, 调制可分三大类。

第一类为振幅调制(AM), 或简称为调幅。它是用调制信号去控制高频载波的振幅, 使其随调制信号的变化而变化。振幅调制又可细分为普通振幅调制、抑制载频的平衡调幅制、单边带调幅制及残留边带调幅制等多种。中短波广播采用的是普通调幅制, 电视图像信号采用的是残留边带调幅制。普通调幅也称标准调幅, 抑制载频的平衡调幅也称双边带调幅或平衡调幅。

第二类为频率调制 (FM)，简称为调频。它是用调制信号去控制高频载波信号的角频率 ω_0 (即频率 f_0)，使其随调制信号的变化而变化。调频广播、电视伴音均采用调频制。

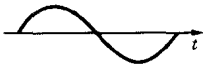
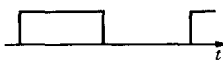
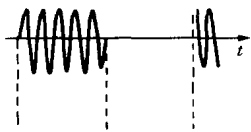
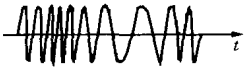
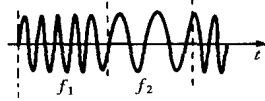
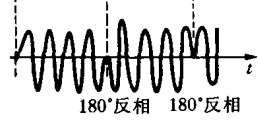
第三类为相位调制 (PM)，简称为调相。它是用调制信号去控制高频载波信号的相位，使其随调制信号的变化而变化。

如果调制信号为 0, 1 组成的数码，也可用它们对高频载波信号的幅度、频率、相位进行调制，分别称为幅度键控 (ASK)、频率键控 (FSK)、相位键控 (PSK)，这类调制统称为脉冲调制或数码调制。

调制后的信号是已调高频信号，称为已调波或已调信号。不同的调制信号或不同的调制方式所得的已调信号其性质也各不相同。本章就它们的波形、频谱、频带宽度、相位关系等作一简单讨论，至于调制的具体方法与电路将在以后各章中逐一介绍。

现将 3 种调制方式的概况列于表 1-1 中。

表 1-1 调制方式分类

调制信号 (基带信号)	$f(t)$		
载频信号	$v = V_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ $= V_m \cos \varphi(t)$		
振幅调制 (AM)	用 $f(t)$ 改变 V_m , 使 V_m 随 $f(t)$ 变化; ω_0, φ_0 不改变		
频率调制 (FM)	用 $f(t)$ 改变 ω_0 或 f_0 , 使 ω_0 随 $f(t)$ 变化而变化; V_m, φ_0 不改变		
相位调制 (PM)	用 $f(t)$ 改变 $\varphi(t)$, 使 $\varphi(t)$ 随 $f(t)$ 变化, V_m, ω_0 不改变	波形与调频波类似	

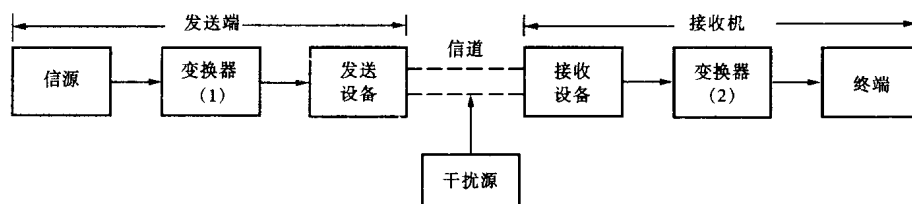
三、通信系统模式

一个信息要从甲方不失真的传送到乙方，要经过一系列的处理和变换。总括起来，可用框图 1-1 来表述一个通信系统的组成情况。下面对图中各部分做简要说明。

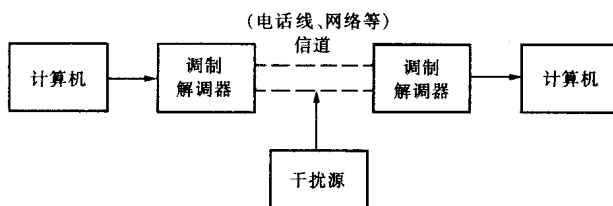
信源又称信息源，它可以是声音、文字、图像、数码等信息，也可以是温度、压力、转速、光强、湿度、气味等物理参量。

变换器在某些设备中也称传感器，变换器 (1) 的主要功能是将信息转换成电信号，例如送话器可将人的声音变成音频电信号，摄像机能将图像、文字等变成视频电信号，温度传感器则可将温度变化转换成相应变化的电信号等。

发送设备是将要传送的信号对某一高频载波进行调制，并对已调波进行放大等处理，再由天线以电磁波形式向自由空间辐射；已调信号也可以在有线系统中传送，如通信电缆或光缆。



(a) 典型的通信系统组成



(b) 计算机间通信系统组成

图 1-1 通信系统模式

接收设备是用天线将自由空间的电磁波接收下来，并经选频、放大、解调等一系列处理，从已调波中解出所传送的信号。

变换器(2)及终端是将解调出的电信号转换成所需的信息并经适当处理，再送至终端。例如将音频电信号送到扬声器发出声音、将图像信号送到显像管显示出图像或文字等。

信道指信号传输的通道，又称传输媒介。电信号通道主要分两种：一种是有线信道，信号是沿导体传播的，如架空明线、电缆、光纤、波导管等，其中工业电视、有线电视、农村的有线广播、计算机网络通信等绝大多数都是有线通信系统；另一种是无线信道，电磁波是在自由空间内传输，如广播、电视、遥控、遥测、卫星通信等均为无线通信系统。本课程主要讨论的就是这些系统中与高频电路等有关的问题。信道的基本特性包括衰减特性、干扰特性、频率特性、时变与时不变特性等。

干扰源指实际的电信系统不可避免地要受到干扰，如工业干扰、天电干扰、元器件产生的噪声等。干扰可能从系统的任何部分侵入。通常人们常将一切干扰折合成信道干扰，以干扰源的集中形式影响信道，如图 1-1 所示。图(b)为典型的计算机间通信系统组成框图，计算机发出的数据(信息)经调制解调器，转换成信道所需的数据格式(如不同的数据码率等)，经信道传输后，再由调制解调器，恢复出计算机所需格式的数据，以此达到通信的目的。调制解调器，即 Modem 有内插式、外接式、袖珍式、无线式等多种类型，速率有 300、1 200、2 400、9 600、28 800 bit/s 等多种。

四、通信系统模式举例

1. 调幅广播系统的发射、接收组成框图

为了对上述的通信模式有个较详细的了解，下面画出广播系统的发射机与接收机的原理框图，分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

(1) 对无线电广播发射机框图中的各部分作一简单说明。

高频振荡器也称载频(波)振荡器。它能产生等幅高频正弦信号，这个信号的频率可能就是广播电台的频率，如中波的 640 kHz、828 kHz，短波的 6 MHz、18 MHz 等。

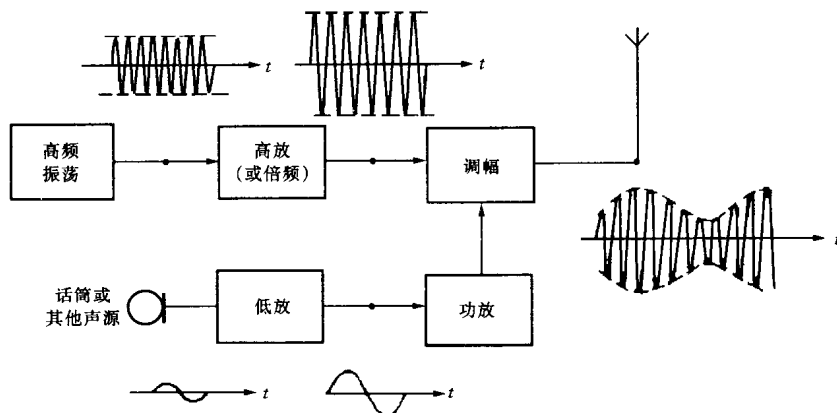


图 1-2 无线电广播发射机原理框图

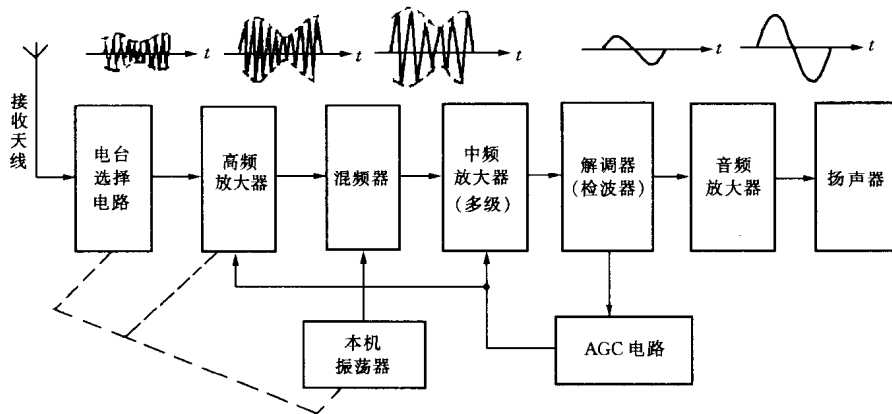


图 1-3 无线电广播接收机组成框图

放大器或倍频器对高频振荡器产生的信号进行放大或倍频。倍频的目的是为了使振荡器输出信号的频率升至所需之值。

话筒是将声音变为音频电信号，作为调制信号的信息源，也可用录音机等其他信息源代之。

音频放大器能对音频信号进行不失真的电压或功率放大，以满足调制器的要求。

调制器是一个非线性部件，以调制信号去控制高频信号的振幅，使其随音频信号幅度的变化而变化。调制后的信号可直接由天线发射出去，也可经高频功率放大器放大再送至天线发出。

发射天线能将已调制的高频信号转换成相应的电磁波，辐射到自由空间中去。天线的形状、尺寸与高频信号的波长有密切关系，它是发射机与信道间的接口，对整机的功率、效率等项指标有直接关系。

(2) 对图 1-3 的无线电广播接收机框图中的主要部分作一简单说明。

接收天线能接收自由空间传播来的电磁波，并将它转换为已调高频信号。接收天线是信道与接收设备之间的接口，它的质量好坏，对接收机的性能指标会有很大影响。

输入回路又称天线回路。它是一选频电路，主要起选择电台和阻抗匹配作用。因为在同一时刻内，接收天线的接收环境中有许许多多不同发射台发来的无线电信号，所以，必须要用选择性电路才能将所要接收的电台信号选择出来。任何一种无线电接收设备，都少不了电

台选择电路。

高频信号放大器简称高放电路，由接收天线所获得的信号是十分微弱的，常在微伏级或是毫伏级范围，因此必须经过放大。电视接收机、雷达接收机、无线电话机等均加有高频放大电路，但在级别较低的广播收音机中，大都没有高频放大器，由输入回路送出的信号直接加到混频电路。

本机振荡器又称本地振荡器，通常是一个 LC 正弦波发生电路，给混频器送出一个等幅的高频振荡信号。在超外差式接收机中，本机振荡的频率通常比从天线回路选出的已调高频信号的载频高出一个中频值。

混频器是一非线性电路，它能将本机振荡器送来的高频信号和由高频放大器送来的已调高频信号进行差频，产生一已调中频信号，但信号的调制规律保持不变。例如，我国规定中短波接收机的中频频率是 465 kHz ，如果要接收载频为 640 kHz 的中波电台信号，则本机振荡器要产生一频率为 $1\,105\text{ kHz}$ 的高频信号，混频器则要完成 $(1\,105 - 640)\text{ kHz} = 465\text{ kHz}$ 的差频功能。混频的目的是为了将不同电台的已调高频信号的载频差拍至一个固定的中频频率，但仍保持信号的原调制特征。这种措施可以大大改善无线电接收设备的性能，其详细情况以后进行论述。

中频放大器能将混频器送来的已调中频信号进行所需的放大。

解调器也是非线性电路，任务是要从已调制的中频信号中解调出（还原出）原调制信号。如从调幅信号中解出音频信号，则解调器称为检波器；如从调频信号中解调出音频信号，则解调器称为鉴频器或频率检波器。

音频放大器包括音频电压放大器和功率放大器。任务是将解调器送来的音频信号进行不失真的放大，以满足不同扬声器的要求。

扬声器能将音频电信号转换成声音。这是接收机的终端设备，既然是终端设备，也可用其他装置，如录音机、记录仪等记录、显示所接收的信息。

AGC 是自动增益控制电路，能自动控制中频放大器、高频放大器的增益，使其随接收电台信号的增强而减小，随接收电台信号的减弱而加大。即当接收强电台信号时，AGC 电路的输出信号能使中放、高放的增益自动减小；反之，则自动加大。

上述的无线电广播系统的收、发方框简图，基本上也适用于其他无线电通信系统，如无线电话、无线话筒、遥控、电视广播等系统。另外，上述方框图中，除音频放大等以外的主要组成部分都属于高频电子线路课程的内容，也是本书论述的重点。

2. 数字处理彩色电视接收机框图

数十年来，黑白、彩色电视接收机无疑都是模拟信号的传输系统。近年来由于数字电路，特别是大规模集成电路技术的飞速发展，在彩色电视接收机中已大量而迅速地应用了数字信号处理技术和数字电路，除了频道预选、电台切换等电路外，如今伴音通道、亮度通道、色度通道、同步及行场扫描产生等电路均已由相应的数字信号处理器来完成，其基本框图如图 1-4 所示。下面对图中部件做简要说明。

调谐器俗称高频头，它包含输入回路、高频放大、混频、本振以及频道预置、电台切换等电路。其主要作用是不失真的接收所需频道的节目，并将图像信号及伴音信号的载频变换成所规定的中频。

伴音解调的任务是要从已调制的中频伴音信号中解出原音频信号。