



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

通信电子线路

(第2版)

顾宝良 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

通信电子线路

(第2版)

顾宝良 编著

苗 澎 朱 萍 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级电子信息类规划教材,是一本系统介绍现代通信电路原理、结构和电路设计的基础教材。全书共10章,系统地介绍了通信概论、射频单元电路和各种通信电路。主要内容有电子通信概论、LNA、混频器、射频功率放大器、射频振荡器(包括VCO和集成VCO)、频率合成(包括DDS合成)、调幅通信电路、调频通信电路和数字通信电路(包括现代通信系统的集成化和软件化)、通信系统实例和通信电子线路的MATLAB仿真等。全书有教学课件,供读者参考。

本书可作为高等学校电子信息类的电子信息工程、电子通信工程和电子科学与工程等专业的教材,也可以供相应专业的工程技术人员学习和参考。

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

通信电子线路/顾宝良,苗澎,朱萍编著.—2版.—北京:电子工业出版社,2007.8

(电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业)

ISBN 978-7-121-04404-5

I. 通… II. ①顾… ②苗… ③朱… III. 通信系统—电子电路—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第107123号

责任编辑:谭海平

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:787×1092 1/16 印张:24 字数:614.4千字 插页:3

印 次:2007年8月第1次印刷

定 价:33.00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 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是为高等学校电子信息类和相近专业编著的一本介绍现代电子通信系统所涉及的各种通信电路、高频电路的工作原理和分析方法的专业基础重点教材,也是一本在“面向 21 世纪课程教改教材《通信电子线路》(第 1 版)”使用 5 年(2002 ~ 2006 年)的基础上,总结多年的教学实践,吸取各使用该教材院校的意见和建议后加以修订编著的教材。本书内容列举了很多最新通信电路技术和通信集成电路设计方法,是一本能适应现代电子信息技术飞速发展的、内容既新颖又实用的教材。

本教材借鉴国外优秀教材的写法:始终以“讲透概念原理,多举实际电路”为宗旨,在章节次序排列上较第一版有很大的改动,尽量做到符合由浅入深、由单元电路到系统电路的认识规律。对所涉及的基础知识和基本分析方法尽量阐述详尽,不仅重视教更重视读,力求做到增加可读性。在各章节中还列举了例题,帮助学生加深对基础知识的理解,以减少学生阅读和自学的困难。

在编著本书时,考虑到它是专业基础课程教材,力求做到由单元电路到系统电路的认识规律,同时还考虑到不少高等院校还习惯使用传统的《高频电子线路》内容,因此本书在内容取舍方面有如下变动:

1. 将第 1 版的第 1 章绪论改为电子通信概论,介绍学习通信电子线路所必须掌握的基础知识。主要内容有通信频段分配、通信系统组成、调制解调的提出、带宽与信息容量、噪声与接收灵敏度、非线性失真与干扰和选频滤波器等。
2. 混频和宽带低噪声放大器是外差接收机的前端电路,因此把它们分别列为第 3 章和第 2 章,以重点介绍这两部分功能电路的电路原理和设计方法。
3. 射频功率放大器是发射机的重要组成部分,是目前发展较快的一种功能电路。为使读者能更好地掌握射频功放,将第 1 版的第 4 章中关于射频功放的内容列为第 4 章,并增加了 E 类和 F 类的高效射频功放内容。
4. 增加振荡器一章是为适应《高频电子线路》课程的需要,第 1 版中对射频振荡器介绍得很少。这一章的主要内容有振荡原理、正弦波振荡器、频率稳定度、晶体振荡器、VCO、集成振荡(包括集成 VCO)等。
5. 频率合成在第 1 版的基础上,增加了锁相环路捕获特性和噪声特性的分析,以完善锁相频率合成的理论基础。
6. 在讨论和分析 AM、FM 和数字调制解调技术的基础上,分别介绍采用这几种调制方式的通信机系统的拓扑结构和性能特点等。分别列为第 7 章调幅通信电路,第 8 章调频通信电路、第 9 章数字通信电路。第 7 章重点介绍了 AM 发射机、外差接收和 SSB 通信机,增加了边带复用技术内容。第 8 章在介绍 FM 调制解调的基础上,将第 1 版的第 5 章、第 3 章中关于 FM 发射机和接收机 ASIC 的内容放在这一章介绍。第 9 章在介绍数字调制解调的基础上,分别将第 1 版的第 5 章、第 3 章中的数字通信发射机和接收机 ASIC 系统结构放在这一章中介绍,同时还介绍了软件无线电通信电路。
7. 第 10 章为第 1 版的第 8 章,即通信系统实例。

8. 增加附录“通信电子线路的 MATLAB 仿真”,供读者参考。

9. 增加教学课件,对于使用本教材的院校,出版社将免费提供该课件。

本书由顾宝良教授编著并审校统稿,具体负责第1章和第4章~第10章的编著工作,其中第1章、第10章由顾宝良和苗澎共同完成;第6章、第8章、第9章由顾宝良和朱萍共同完成。苗澎还完成了第2章、第3章以及附录(通信电子线路 MATLAB 仿真)的编写工作。朱萍还完成了课件编制工作。赵晴同学等参加了部分章节电子文档和课件的编制工作。

本书在编著过程中,作者参考了大量中外书刊杂志和有关资料,吸取了多方面的宝贵意见和建议,得到了领导和电子工业出版社给予的支持和帮助,在此谨表谢意。通信电子线路涉及的知识面很广,新知识很多,鉴于作者在理论水平和知识广度方面还有许多不足,书中难免有不少错误之处,敬请批评指正。

作者

2007年7月于南京东南大学

符 号 说 明

A_u	电压增益	I_E	发射极静态电流
A_{us}	源电压增益	I_{EQ}	发射极静态电流
B	带宽	I_g	场效应管的栅极电流
B_N	等效噪声带宽	IIP_3	输入三阶互调阻断点
c	光速	I_M	归一化峰值电流
C	信道容量	I_o	流过晶体三极管 PN 结的平均 电流值
$C_{b'e}$	发射结电容	IP_3	三阶互调阻断点
$C_{b'e}$	发射结的扩散电容	$J_n(M_f)$	系数为 M_f 的 n 阶第一类贝塞 尔函数
C_{De}	扩散电容	K	环路直流增益
C_{ds}	场效应管漏源沟道电容	K_d	鉴相增益
C_{gd}	栅漏极间电容	K_o	压控灵敏度
C_{gs}	栅源极间电容	k_v	频率覆盖范围
C_j	变容二极管结电容	l	沟道长度
C_{je}	势垒电容	L_b	功率管的基极引线电感
C_{ox}	单位面积的栅极电容量	L_c	功率管的集电极引线电感
E_A	灵敏度	L_e	功率管的发射极引线电感
f	频率	$m(t)$	数字基带信号
F	噪声因数	M_f	调频指数
f_{CLOCK}	时钟频率	M_p	调相指数
f_{img}	镜频	N	噪声功率
f_p	晶体的并联谐振频率	N_F	噪声系数
f_s	晶体的串联谐振频率	N_i	输入噪声功率
f_T	特征频率	N_o	输出噪声功率
G	功率增益	P_{av}	调幅信号在一个调制信号周期 内的平均功率
G_c	混频器的变频增益	P_{CM}	功率管的额定管耗,集电极最 大允许耗散功率
g_D	二极管的导通电导	P_D	电源供给功率
g_m	场效应管的跨导	P_{LO}	本振功率
$H(f)$	电压传输函数	P_o	输出功率
$H(s)$	闭环传递函数	P_{SB}	边频功率
$\overline{i_N}$	等效噪声电流		
$\overline{i_N^2}$	噪声电流均方值		
I	信息速率(信息容量)		
I_{CQ}	晶体三极管集电极静态电流		

P_T	功率管的管耗	U_T	热电压
q	电荷量	$u_{\Omega(t)}$	调制信号
Q	品质因素	$U_{\Omega m}$	调制信号的幅度
R	电阻	V_{BB}	双极型三极管基极直流电源电压
$r_{bb'}$	晶体三极管基区体电阻	V_{CC}	双极型三极管集电极直流电源电压
$r_{bb'}$	基区体电阻	V_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
S	信号功率	V_{EE}	双极型三极管发射极直流电源电压
$S/N, D$	信噪功率比	V_{GC}	场效应管栅极直流电源电压
$S_i(f)$	电流功率谱密度	W	沟道宽度
$S_i(f)$	输入热噪声功率频谱密度	Z_i	输入阻抗
S_i/N_i	输入信噪功率比	Z_o	输出阻抗
$S_o(f)$	输出功率谱密度	β_0	共发射极组态双极型晶体管的低频 电流放大系数
S_o/N_o	输出信噪功率比	γ	沟道长度调制系数
$S_{\theta Ni}$	输出噪声功率谱密度	$\Delta\omega_p$	捕获带
t	时间	ζ	阻尼系数
T	周期、热力学温度、三极管和 场效应管符号	η	效率
$T(\omega_{osc})$	环路增益的模值	θ	正弦电压信号的相位、功率管的导 通角
T_N	等效噪声温度	θ_{Ni}	由输入标频信号送入的相位噪声
t_p	环路捕获时间	θ_{Nv}	VCO 内部噪声形成的相位噪声
$u(t)$	时变正弦电压信号	$\sigma_{\theta No}^2$	输出相位噪声均方值
$U_{CE(sat)}$	功率管的饱和压降	λ	波长
$U_{GS(off)}$	场效应管的夹断电压	ρ	特性阻抗
u_i	输入交流电压信号	μ	迁移率
U_m	正弦电压信号的峰值幅度	ω	角频率
$\overline{u_N}$	等效噪声电压	ω_0	谐振角频率
$\overline{u_N^2}$	噪声电压均方值	ω_C	载频
U_N^2	噪声电压均方值	ω_H	环路带宽, 上限角频率
U_{NO}	输出噪声电压	ω_1	中频
u_o	负载上的输出电压	ω_{1F}	上限角频率
U_{PD}	鉴相器 PD 产生的输出噪声 电压	ω_R	纯的载频

目 录

第 1 章 电子通信概论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 通信频率的分配	(1)
1.3 通信系统的组成	(3)
1.3.1 通信系统的模型	(3)
1.3.2 模拟通信与数字通信	(4)
1.3.3 通信方式	(5)
1.4 调制解调的提出	(5)
1.5 带宽与信息容量	(7)
1.5.1 信息带宽与系统带宽	(7)
1.5.2 信息容量与信道容量	(7)
1.5.3 理想通信系统	(8)
1.6 噪声系数与接收灵敏度	(8)
1.6.1 噪声	(8)
1.6.2 电阻热噪声	(10)
1.6.3 噪声系数和等效噪声温度	(15)
1.6.4 接收灵敏度	(19)
1.7 非线性失真与干扰	(21)
1.7.1 非线性器件的特性描述	(21)
1.7.2 非线性特性的影响	(24)
1.8 信号的选频滤波	(27)
1.8.1 预选选频滤波器	(27)
1.8.2 LC 谐振回路和 LC 集中选频滤波器	(28)
1.8.3 带通选频滤波器	(32)
本章小结	(38)
习题	(39)
第 2 章 低噪声放大器	(43)
2.1 引言	(43)
2.2 晶体管高频小信号模型	(43)
2.2.1 双极型晶体管共射小信号等效模型	(44)
2.2.2 场效应管小信号模型	(44)
2.3 LNA 主要指标	(45)
2.4 单管低噪声放大器	(48)
2.4.1 双极型三极管共射极高频小信号电路分析	(49)
2.4.2 场效应管共源极高频小信号电路分析	(50)

2.5 集成宽带低噪声放大器	(51)
2.5.1 组合 LNA 电路	(51)
2.5.2 集成 LNA 电路	(53)
2.6 LNA 的噪声匹配	(54)
2.6.1 二端口网络噪声匹配	(54)
2.6.2 双极型 LNA 的匹配	(55)
2.6.3 MOS LNA 的匹配	(56)
2.7 LNA 设计举例	(58)
2.7.1 双极型 LNA	(58)
2.7.2 差分 MOS LNA	(59)
本章小结	(60)
习题	(61)
第 3 章 混频器	(63)
3.1 引言	(63)
3.2 混频原理	(63)
3.2.1 混频在通信系统中的作用	(63)
3.2.2 混频器的工作原理	(63)
3.3 混频失真与干扰	(67)
3.3.1 失真与干扰的种类	(68)
3.3.2 失真与干扰的抑制	(72)
3.4 混频器的主要指标	(72)
3.5 混频器电路结构	(75)
3.5.1 无源混频器	(75)
3.5.2 有源混频器	(79)
3.6 混频器的级联	(87)
3.6.1 带混频器的级联系统噪声系数的计算	(87)
3.6.2 混频器端接	(88)
3.6.3 平衡-非平衡转换	(88)
本章小结	(88)
习题	(89)
第 4 章 射频功率放大器	(93)
4.1 引言	(93)
4.2 A 类射频功率放大器	(94)
4.2.1 正弦信号输入时的 A 类 RFPA	(94)
4.2.2 方波信号输入时的 A 类 RFPA	(95)
4.3 B 类和 C 类射频功率放大器	(96)
4.3.1 B 类射频功放电路	(96)
4.3.2 C 类射频功放原理	(97)
4.3.3 C 类 RFPA 的查表设计方法	(99)
4.3.4 C 类 RFPA 的倍频功能	(101)

4.4	高效射频功率放大器	(102)
4.4.1	D 类 RFPA	(103)
4.4.2	E 类 RFPA	(105)
4.4.3	宽带 E 类 RFPA 电路设计	(107)
4.4.4	F 类 RFPA	(109)
4.5	阻抗匹配网络与网络设计	(111)
4.5.1	RF 功率管的输入、输出阻抗	(111)
4.5.2	阻抗匹配原理	(112)
4.5.3	匹配网络与网络设计	(113)
4.5.4	35 W 线性功放网络设计	(117)
4.5.5	8 W UHF 宽带功放网络设计	(119)
4.5.6	射频功放模块及其应用	(120)
4.6	射频宽带功率合成	(125)
4.6.1	传输线变压器	(125)
4.6.2	宽带功率合成原理	(127)
4.6.3	宽带功率合成电路	(128)
	本章小结	(130)
	习题	(131)
第 5 章	振荡器	(135)
5.1	引言	(135)
5.2	反馈振荡器的工作原理	(135)
5.2.1	平衡和起振条件	(135)
5.2.2	振荡电路的基本分析方法	(137)
5.3	LC 正弦波振荡器	(138)
5.3.1	三点式 LC 振荡电路	(138)
5.3.2	电容三点式振荡电路(Coplitts 电路)	(142)
5.3.3	电感三点式振荡电路(Hartley 电路)	(146)
5.4	振荡器的频率稳定度	(147)
5.4.1	频率准确度和频率稳定度的定义	(147)
5.4.2	相位噪声对通信的影响	(148)
5.4.3	LC 振荡器频率稳定度的定性分析	(150)
5.4.4	提高频率稳定度的基本措施	(151)
5.5	晶体振荡器	(152)
5.5.1	石英晶体谐振器的电特性	(152)
5.5.2	晶体振荡器电路	(154)
5.6	压控振荡器(VCO)	(157)
5.6.1	变容二极管 VCO	(158)
5.6.2	晶体压控振荡器 VCXO	(160)
5.6.3	VCO 的主要技术指标	(161)
5.7	集成振荡器	(161)

5.7.1 集成压控多谐振荡器	(162)
5.7.2 集成电路 LC 振荡器	(166)
5.7.3 MOS LC 集成振荡器	(167)
5.7.4 集成环形 VCO	(168)
5.7.5 正交 I/Q 信号的产生	(170)
本章小结	(171)
习题	(172)
第 6 章 频率合成	(180)
6.1 引言	(180)
6.2 频率合成的基本方法和指标	(180)
6.2.1 频率合成的基本方法	(180)
6.2.2 频率合成器的主要技术指标	(184)
6.3 PLL 基本原理	(186)
6.3.1 NPLL 的线性分析	(186)
6.3.2 NPLL 的单元电路	(189)
6.3.3 NPLL 的捕获特性	(197)
6.3.4 NPLL 的噪声特性	(199)
6.4 锁相频率合成	(202)
6.4.1 单环锁相频率合成器	(203)
6.4.2 小数分频频率合成器	(212)
6.4.3 多环锁相频率合成器	(214)
6.5 直接数字频率合成器(DDS)	(216)
6.5.1 DDS 基本原理	(216)
6.5.2 AD9850 频率合成器	(218)
本章小结	(220)
习题	(221)
第 7 章 调幅通信电路	(226)
7.1 引言	(226)
7.2 振幅调制电路	(226)
7.2.1 振幅调制电路的组成模型	(226)
7.2.2 SSB 调制模型和电路	(229)
7.3 振幅解调电路	(233)
7.3.1 包络检波电路	(233)
7.3.2 同步检波相乘解调电路	(234)
7.4 AM 发射机	(236)
7.4.1 射频直接调制 AM 发射机	(236)
7.4.2 间接调制 AM 发射机	(238)
7.5 超外差接收机	(238)
7.5.1 单次变频外差式接收机	(238)
7.5.2 镜像干扰及其抑识方法	(241)

7.5.3 双重变频超外差接收机框图	(242)
7.5.4 自动增益控制 AGC	(244)
7.6 单边带通信与复用技术	(246)
7.6.1 SSB 收发信机	(246)
7.6.2 AM 独立边带发射机	(248)
7.6.3 SSB 的频分复合	(249)
7.6.4 正交复用 QM	(250)
本章小结	(251)
习题	(252)
第 8 章 调频通信电路	(256)
8.1 引言	(256)
8.2 FM 波和 PM 波信号	(256)
8.2.1 FM 波和 PM 波信号分析	(256)
8.2.2 FM 波的功率分布和有效带宽	(258)
8.3 频率调制电路	(261)
8.3.1 直接调频	(261)
8.3.2 间接调频	(265)
8.4 调频发射机 ASIC	(269)
8.4.1 直接调频发射机 ASIC	(270)
8.4.2 PLL FM/AM 发射机 ASIC	(270)
8.5 频率的解调电路	(276)
8.5.1 斜率鉴频电路	(276)
8.5.2 移相乘积鉴频电路	(278)
8.5.3 PLL 鉴频电路	(281)
8.5.4 脉冲计数鉴频电路	(282)
8.6 调频接收机 ASIC	(282)
8.6.1 FM 接收中频通道电路 MC3359	(283)
8.6.2 FM 接收机电路 MC3363	(288)
8.6.3 自动频率控制 AFC	(291)
本章小结	(293)
习题	(295)
第 9 章 数字通信电路	(299)
9.1 引言	(299)
9.2 数字调制概述	(299)
9.2.1 数字调制的一般概念	(299)
9.2.2 数字调制的种类	(300)
9.3 数字线性调制与解调	(301)
9.3.1 二进制移相键控 BPSK	(301)
9.3.2 二进制差分移相键控 DPSK	(303)
9.3.3 四相移相键控 QPSK	(304)

9.4 数字非线性调制与解调	(305)
9.4.1 二进制移频键控 BFSK	(305)
9.4.2 高斯最小移频键控 GMSK	(308)
9.4.3 多进制正交幅度移相 MQAM	(309)
9.5 DDS 实现数字调制	(311)
9.5.1 AD9850 数字调制系统	(311)
9.5.2 AD9830 的数字调制功能	(312)
9.5.3 DDS 数字调制器 AD7008	(313)
9.6 数字通信发射机 ASIC 系统结构	(314)
9.6.1 间接调制发射机	(314)
9.6.2 直接调制发射机	(315)
9.6.3 PLL 调制发射机	(316)
9.7 数字通信接收机 ASIC 系统结构	(318)
9.7.1 超外差接收机	(318)
9.7.2 零中频接收机	(319)
9.7.3 宽带零中频接收机	(320)
9.7.4 数字中频接收机	(320)
9.8 软件无线电通信电路	(321)
9.8.1 软件无线电通信的提出	(321)
9.8.2 软件无线电系统的基本结构	(323)
本章小结	(326)
习题	(327)
第 10 章 通信系统实例	(328)
10.1 引言	(328)
10.2 2~10 MHz 短波 SSB 通信电台	(328)
10.2.1 收发信通道电路	(328)
10.2.2 射频功率放大器	(330)
10.2.3 频率合成器	(330)
10.3 49/46 MHz 无绳电话系统	(331)
10.4 GSM 移动通信系统	(334)
10.5 新一代 DCR 通信系统 ASIC	(338)
10.5.1 900 MHz/1.9 GHz DCR 单片 IC 无线收发器	(338)
10.5.2 2.45 GHz 零中频单片 IC 收发器	(339)
附录 通信电子线路的 MATLAB 仿真	(341)
参考文献	(370)

第 1 章 电子通信概论

1.1 引言

通信是将信息(消息)由一个地方传向另一个地方(或多个地方),现代通信通常都采用电信号来完成这一传递过程。因此,现代通信实质上就是电子通信,即电通信,以下简称为通信。

通信中所传递的消息有各种不同的形式,如语音、音乐、图像、文字、数据、符号等。根据所传递消息的不同现代通信业务可分为电话、传真、电报、可视电话、数据传输等,而从广义的角度来看,则广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也属于通信范畴。

作为有实用意义的通信是从 19 世纪 30 年代出现的低级有线电报后才开始的。即 1837 年摩尔斯(Samuel Morse)利用电磁感应在一个简单的、由一根金属长线构成的简易收发机之间以点、划和空格形式传递信息的装置,作为第一个电子通信系统。由于电磁感应理论的形成和发展,于 19 世纪 70 年代又开始有了低级的电话机。即 1876 年贝尔(Alexander Graham Bell)和华迪生(Thomas A Watson)发明的电话机。这就是以金属导线为传输媒质的简单的有线通信方式。1873 年麦克斯韦(James C. Maxwell)发表了电磁辐射理论,为无线电通信奠定了理论基础。1894 年马可尼(Guglielmo Marconi)试验无线电通信获得成功,从而开辟了无线电通信的广阔发展道路。1904 年开始出现真空管电子器件,从而使通信设备有了飞速的发展,相继出现了有较高水平的有线通信和长波、中波及短波一类的较高水平的无线电通信。20 世纪 30 年代出现半导体器件,从而使通信设备的发展又迈入了一个新的里程碑。1955 年皮尔斯提出了利用人造卫星实现全球通信的设想,1957 年前苏联发射了第一颗人造地球卫星 Sputnik I。1960 年美国用 ATLAS 卫星首次实现了卫星广播,从而开辟了卫星通信的新领域。20 世纪 60 年代和 70 年代又出现了“光纤通信”和“计算机通信”,使通信更加快速,内容更加丰富。大规模集成电路的出现和计算机的迅速发展都对通信技术的发展起着极其重要的推动作用,它不仅使通信设备更小型化,而且寿命长,可靠性高,从而又进一步推动了个人移动通信和宇宙空间通信的发展。

本章首先介绍通信频段分配、通信系统的组成与种类、调制解调技术在通信中的重要作用等,然后简要分析信号的频谱和带宽,信息容量、噪声和信噪比、接收灵敏度、信道容量,以及理想通信系统的条件;同时,还分别介绍了各种选频滤波的性能特点,以及滤波器的发展。

1.2 通信频率的分配

电信号的频率是一个周期性运动,例如电压或电流的正弦波,在一个给定的时间内出现的次数就是频率的定义。波形的每一个完整的交替为一个周期,所以频率就是每秒钟内的周期数,频率的基本单位是赫兹(Hz),1 Hz 等于每秒钟一个周期,在电子学中,通常使用公制的前缀来表示更高的频率。例如,kHz(千赫)、MHz(兆赫)等。

图 1.2.1 表示了全部电信号的频谱,以及各种通信业务所使用频率的大约位置。频谱从次声频(几 Hz)延伸到宇宙射线(10^{22} Hz)。

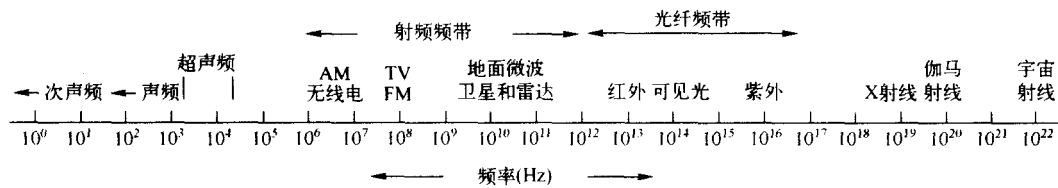


图 1.2.1 电信号的频谱图

图中紫外光、X 射线、伽马射线和宇宙射线等,极少应用于电子通信。而频率单位中, 10^0 为 Hz, 10^3 为 kHz, 10^6 为 MHz, 10^9 为 GHz, 10^{12} 为 THz, 10^{15} 为 PHz, 10^{18} 为 EHz,等等。

当涉及无线电波时,通常使用波长,而不使用频率单位。波长是电磁波(电信号波)的一个周期在空间所占用的长度,即在一个重复的波形中类似点之间的距离。波长与频率成反比,且直接与波传播的速度成正比。电磁波在自由空间中的传播速度被认为是光速,即 3×10^8 m/s。波长与频率、速度之间的关系的数字表达式为

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1.2.1}$$

式中 λ 为波长,单位为米(m); c 为光速, $c = 3 \times 10^8$ m/s; f 为频率,单位为赫兹(Hz)。例如,中频 MF = $0.3 \sim 3$ MHz,则 $\lambda = 1000 \sim 100$ m;特高频 UHF = 300 MHz ~ 3 GHz,则 $\lambda = 1 \sim 0.1$ m;极高频 EHF = $30 \sim 300$ GHz,则 $\lambda = 0.01 \sim 0.001$ m = $10 \sim 1$ mm,该波段常称为毫米波段。

表 1.2.1 列出了国际无线电咨询委员会(CCIR)的波段名称,CCIR 波段的主要应用如下。

表 1.2.1 CCIR 波段名称

频带号	频率范围*	名 称
2	30 ~ 300 Hz	ELF(极低频)
3	0.3 ~ 3 kHz	VF(话音频率)
4	3 ~ 30 kHz	VLF(甚低频)
5	30 ~ 300 kHz	LF(低频)
6	0.3 ~ 3 MHz	MF(中频)
7	3 ~ 30 MHz	HF(高频)
8	30 ~ 300 MHz	VHF(甚高频)
9	0.3 ~ 3 GHz	UHF(特调频)
10	3 ~ 30 GHz	SHF(超高频)
11	30 ~ 300 GHz	EHF(极高频)
12	0.3 ~ 3 THz	红外光
13	3 ~ 30 THz	红外光
14	30 ~ 300 THz	红外光
15	0.3 ~ 3 PHz	可见光
16	3 ~ 30 PHz	紫外光
17	30 ~ 300 PHz	X 射线
18	0.3 ~ 3 EHz	伽马射线
19	3 ~ 30 EHz	宇宙射线

* 10^0 , 赫兹(Hz); 10^3 , 千赫兹(kHz); 10^6 , 兆赫兹(MHz); 10^9 , 吉[咖]赫兹(GHz); 10^{12} , 太[拉]赫兹(THz); 10^{15} , 拍[它]赫兹(PHz); 10^{18} , 艾[可萨]赫兹(EHz)。

极低频段(Extremely low frequencies,简称 ELF)是 30 ~ 300 Hz 范围内的信号,包含工业交流

电 50 Hz(国际为 60 Hz)、低频遥测信号以及海洋声纳信号等。

话音频率(Voice Frequencies,简称 VF)是 300 Hz 到 3000 Hz 范围内的电信号,包含人类语音频率,标准电话信道带宽为 300 Hz ~ 3 kHz,通称话音频率。

甚低频段(Very Low Frequencies,简称 VLF)是 3 ~ 30 kHz 范围内的信号,它包含人类听觉范围的高端。VLF 用于某些特殊的政府或军事系统通信以及海军潜艇通信、导航等。

低频段(Low Frequencies,简称 LF)是 30 ~ 300 kHz 范围内的信号,主要用于船舶导航和航空导航以及电力通信等。

中频段(Medium Frequencies,简称 MF)是 300 kHz ~ 3 MHz 范围内的信号,主要用于商业 AM 广播(535 ~ 1605 kHz)。

高频(High Frequencies,简称 HF)是 3 ~ 30 MHz 范围内的信号,常称为短波段(short wave)。大多数双向无线电通信使用这个频段,国际无限 AM 广播也都在该频段。一些单边带军用通信和商业通信也常用这个频段,业余无线电和民用电台也使用 HF 波段。

甚高频(Very High Frequencies,简称 VHF)是 30 ~ 300 MHz 范围内的信号,常用于移动车载通信、商业 FM 广播(88 ~ 108 MHz)以及 2 ~ 13 频道(54 ~ 216 MHz)的商业电视广播。

特高频段(Ultra High Frequencies,简称 UHF)是 0.3 ~ 3 GHz 范围内的信号,由商业电视广播的频道 14 ~ 83、陆地移动通信业务、蜂窝移动电话、某些雷达和导航系统、微波及卫星无线电系统所使用。1 GHz 以上的频率通常被认为是微波频率,因此 UHF 的高端属于微波段。

超高频段(Superhigh Frequencies,简称 SHF)是 3 ~ 30 GHz 范围内的信号,这是微波及卫星无线电通信系统所使用的频率。

极高频段(Extremely High Frequencies,简称 EHF)是 30 ~ 300 GHz 范围内的信号,该波段除特殊应用外,很少用于无线电通信。

红外(Infrared)是 0.3 ~ 300 THz 范围内的电信号,用于热寻制导系统、遥控、电子摄影以及天文学。红外通常不认为是无线电波,而认为是与热有关的电磁辐射射线。

可见光(Visible light)是人类可见范围 0.3 ~ 3 PHz 内的电磁波。使用于光波通信、光纤通信等,近年来已成为电子通信系统的一种重要传播媒体。

1.3 通信系统的组成

1.3.1 通信系统的模型

根据电信号传递的媒质不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。所谓有线通信,是指电信号通过导线、电缆线、光缆线等有线媒质传递的,例如电话系统、有线电视、光纤通信等均属有线通信。所谓无线通信,是指电信号利用空间电磁波的传播来作为媒质传递的,例如无线电广播、无线电电视、移动通信、卫星通信等均属无线通信。

实际上,无论何种通信,都是把一地(发送端)的信息传送到另一地(接收端),因而通信系统可以用如图 1.3.1 所示的模型来表示。图中,发送端的信息源的作用是把各种各样的消息转换成原始的电信号,即源电信号;为了能使这些原始电信号适合在信道中传输,由发送端的发送设备对原始电信号再实现某种变换,变换成适合在信道中传输的已调载频电信号,然后将该电信号送入信道。信道就是传递电信号的媒质,对有线通信是指传输导线、电缆线、光缆等,对无线通信是指空间传播电磁波。图中接收端的接收设备是将信道送来的已调载频电信号变

换成原始电信号,送给受信者。受信者的作用是将原始电信号变换成消息,这样就完成了消息的传递过程。图中噪声源是信道中的噪声和分散在发送、接收系统中的噪声的集中表示。

图 1.3.1 所示通信系统的模型概括地反映了点对点通信系统的共性。通常根据研究对象及所关心的问题不同,将会出现不同形式的较具体的通信系统模型。

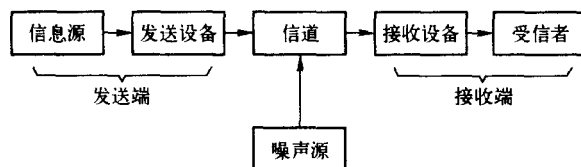


图 1.3.1 通信系统的模型

1.3.2 模拟通信与数字通信

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为两类,即模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统可以用如图 1.3.1 所示的通信系统模型表示。但由于传送的是模拟信号,因此,发送端的信息源是将要传送的话音、音乐、图像等连续变化的模拟信息,转变成连续变化的原始电信号。这种原始电信号是具有频率较低的频谱分量,而且是不能直接在信道中传输的。我们把这种频率较低且携带信息的原始电信号称之基带信号。为了实现信息的传输,必须把基带信号变换成频率较高且适合在信道中传输的电信号。这种变换过程通常称之调制,实现调制功能的电路称之调制器。调制后的电信号称之已调信号,已调信号是携带信息且适合在信道中传输的电信号。而且在接收端,为了获取所传输的信息,必须将信道送来的已调信号再变换成基带信号。这种变换与发送端的变换相反,是一种信号的反变换,我们称这一变换过程为解调,实现解调功能的电路称之解调器。解调输出的基带信号,还必须由模拟终端重新恢复成连续变化的模拟信息(话音、音乐和图像等)。这类模拟终端器件往往是喇叭和显像管等。由此可见,模拟通信系统模型可以用如图 1.3.2 所示的框图表示。

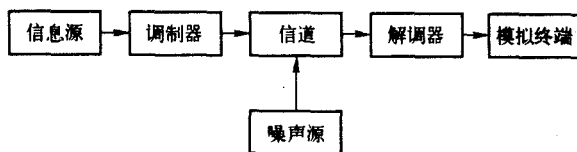


图 1.3.2 模拟通信系统模型

数字通信系统是传输数字信号的,因此在发送端必须把由信息源产生的连续变化的模拟基带信号,变换成离散的数字脉冲信号。完成这种采样数字变换功能的电路称之 A/D 变换器,即 ADC。为了提高数字信号的传输效果,增强抗干扰能力和便于计算机处理,必须对 ADC 输出的数字脉冲信号进行编码处理。同时,为了使通信具有保密性,可以再对编码前的数字脉冲信号先进行加密处理。经过这些处理以后就形成了数字基带信号 $m(t)$,该信号然后就可以送入数字调制器中进行数字调制了。数字调制器输出的带有数字信息的已调信号,是可以在信道中传输的。接收端收到数字已调信号后,送入解调器解出原数字基带信号 $m(t)$ 。再经译码、解密处理后恢复出原始数字信号。然后,再由 D/A 变换器,即 DAC 变换成连续的原始