

高等学校教材

通信电子线路

刘 泉 主编

*Tongxin
Dianzi
Xianlu*



武汉理工大学出版社

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校教材

通信电子线路

主 编 刘 泉

副主编 陈永泰

武汉理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/刘泉主编. —武汉:武汉理工大学出版社, 2002. 9

ISBN 7-5629-1846-5

I. 通… II. 刘… III. 通信电子线路-高等学校-教材 IV. TN03

内容提要

全书由绪论、电路元件与谐振回路、小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、频谱的线性搬移、角度调制与解调、反馈控制电路、通信电路的应用与发展等章节组成。本书强调基本概念,注重实际应用,考虑到通信电子技术的迅速发展,新器件、新技术不断更新的实际情况,结合我们多年的教学实践编写而成。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业的“通信电子线路”课程的教材或主要参考书。也可供研究生及有关专业工程技术人员参考。

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

印刷者:武汉理工大印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:18.5

字 数:462 千字

版 次:2002 年 9 月第 1 版

印 次:2002 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1846-5/TN·03

印 数:1—2000 册

定 价:28.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

前 言

目前以计算机网络与通信为特征的信息技术正日新月异地快速发展。高频电子元件、高频集成电路的工艺技术指标有长足进步,并正在迅速地向着多功能、高功率、模块化、可集成、宽带和可编程的方向发展,且计算机辅助设计技术、信号处理技术也广泛引入通信电路的设计中。现代无线电通信,如移动通信、卫星通信、宽带无线接入等正以前所未有的速度发展,而这些通信系统都通过无线电收、发信号电路来实现。这些正是通信电路所讨论的主要内容,另外,通信电子线路的原理和技术广泛应用于雷达、通信、航空、航天、无线电测量、导航、制导等领域。

根据教育部对信息类本科专业的培养目标及指导思想的要求,迫切需要更新、充实通信电子线路的教学内容;同时鉴于现代通信电子线路技术迅猛发展和广泛应用的现状,需要提供给读者一套与当前技术发展水平及设计思想相适应的参考书,考虑到已出版的通信电子线路方面的书籍远远不能满足要求,我们编写了这本适宜电信类本科生、研究生以及广大科技工作者的通信电子线路参考书。

本书共9章,在绪论中,对无线电系统的基本组成、通信媒质、调制与频谱等作了简要介绍,使读者建立无线通信媒质及频谱利用的基本概念;第2章详细介绍了串、并联和耦合谐振电路,以及陶瓷滤波器等其它谐振器件,帮助读者建立集中参数谐振与滤波及阻抗匹配的概念,为后面内容的学习打下基础;根据通信电子线路课时的要求,并考虑到新型通信集成电路的广泛使用,将小信号放大器与噪声合并为第3章,并且加入了集成化的小信号谐振放大器的内容;在第4章中重点论述了丙类谐振功率放大器的工作原理,并加入了线性射频功放、功率合成等内容,对D、E类功放电路也进行了论述,同时还介绍射频发射模块,集成功率放大器的参考电路等;第5章结合正弦振荡器,对诸如集成宽带调频振荡器、锁相频率源、直接数字合成等高稳信号源进行了简要的介绍;第6章论述了非线性电路的分析方法,重点分析了二极管频率搬移电路、模拟乘法器的工作原理,介绍了变频、振幅调制、解调及频谱电路;第7章在论述角度调制基本原理的基础上,介绍了各种调制方法及其电路实现,并增加了集成的调频系统和解调的内容;对各种相位解调和频率解调的方法与电路都进行了详细的分析;第8章除介绍锁相环路外,还论述了自动增益控制、自动频率控制和自动功率控制等内容;第9章就新型高频集成电路的发展与应用、无绳电话系统的电路分析及高频电子电路的辅助设计进行了详细论述。

每章后都附有较丰富、典型的习题,可供读者学习和巩固理论知识选用,且书后附有通信电子线路专业词汇的中英对照表。

通信电子线路是一门工程性很强,并与实践紧密结合的课程,许多概念的确立、理论知识的理解和通信集成电路的应用,可通过实际制作、测量等实践方法获得。因此,建议本课程另配20学时左右的实验课程。

本书由刘泉教授主编,其中第1、7、8章由刘泉教授执笔,第2、4、5、9章由陈永泰副教授执笔,第3、6章由杨福宝老师执笔。刘泉教授审阅了全书。

在本书的编写过程中,作者广泛参考了中外书刊和有关资料,听取了多方的宝贵建议,得

到了领导和同行的大力支持,在此表示感谢。

鉴于作者在理论水平和知识广度方面的不足,加上时间仓促,错误之处在所难免,诚恳希望诸位专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2002. 8.

目 录

1 绪论	(1)
1.1 无线电通信的基本原理	(1)
1.2 通信的传输媒质	(3)
1.3 本书的内容与特点	(6)
习 题	(6)
2 谐振回路	(7)
2.1 谐振回路元件的高频特性	(7)
2.2 谐振回路	(9)
2.2.1 并联谐振回路	(9)
2.2.2 串联谐振回路	(14)
2.3 谐振回路的耦合连接	(15)
2.3.1 变压器阻抗变换电路	(15)
2.3.2 电感分压式电路	(16)
2.3.3 电容分压式电路	(16)
2.4 耦合回路	(17)
2.4.1 概述	(17)
2.4.2 耦合回路的等效阻抗	(18)
2.4.3 耦合回路的调谐特性	(19)
2.5 滤波器	(21)
2.5.1 石英晶体滤波器	(21)
2.5.2 声表面波滤波器	(24)
2.5.3 陶瓷滤波器	(25)
习 题	(26)
3 高频小信号放大器	(29)
3.1 概 述	(29)
3.2 晶体管高频小信号等效电路与高频参数	(30)
3.2.1 晶体管共射混合 π 等效电路	(30)
3.2.2 y 参数等效电路	(31)
3.2.3 晶体管的高频参数	(32)
3.3 晶体管高频小信号谐振放大器	(33)
3.3.1 单调谐回路谐振放大器	(34)
3.3.2 多级单调谐回路谐振放大器	(38)
3.3.3 双调谐回路谐振放大器	(39)
3.4 谐振放大器的稳定性	(42)

3.4.1	中和法	(43)
3.4.2	失配法	(43)
3.5	集中选频放大器	(44)
3.6	场效应管高频放大器	(46)
3.6.1	结型场效应管	(46)
3.6.2	双栅场效应管高频放大器	(47)
3.7	放大电路的噪声	(47)
3.7.1	电阻的热噪声	(47)
3.7.2	电阻噪声电路的计算	(49)
3.7.3	天线噪声	(50)
3.7.4	晶体三极管的噪声	(50)
3.7.5	放大电路噪声的表示方法及计算	(51)
习 题		(57)
4	高频功率放大电路	(62)
4.1	谐振功率放大器的工作原理	(62)
4.1.1	晶体管特性的折线分析	(63)
4.1.2	高频功放电路的组成	(63)
4.1.3	集电极电流余弦脉冲分解	(65)
4.2	高频谐振功率放大器的性能分析	(68)
4.2.1	高频谐振功率放大器的动态特性	(68)
4.2.2	各极电压对工作状态的影响	(70)
4.3	高频谐振功率放大器的电路组成	(72)
4.3.1	直流馈电电路图	(73)
4.3.2	输出电路	(74)
4.3.3	输出电路的调整	(76)
4.4	匹配网络	(78)
4.4.1	L型网络	(78)
4.4.2	π 型网络	(79)
4.4.3	T型网络	(80)
4.5	宽频带高频功率放大器与功率合成	(82)
4.5.1	宽频带大功率放大器	(82)
4.5.2	宽频带高频功率放大器	(85)
4.5.3	传输线变压器型功率合成与分配网络	(85)
4.6	丙类倍频器原理	(91)
4.6.1	晶体管倍频器	(91)
4.6.2	变容二极管倍频器	(92)
4.7	高效高频功放电路与集成高频功放电路简介	(93)
4.7.1	高效高频功率放大器电路	(93)
4.7.2	集成高频功放电路	(96)

习 题	(99)
本章附录	(101)
5 高频振荡器	(103)
5.1 反馈振荡器的原理	(103)
5.1.1 反馈振荡器的原理和分析	(103)
5.1.2 起振条件	(104)
5.1.3 稳定条件	(106)
5.1.4 振荡线路举例——互感耦合振荡器	(109)
5.2 三点式振荡器	(110)
5.2.1 构成三点式振荡器的原则(相位判据)	(110)
5.2.2 电容三点式振荡器——考毕兹振荡器	(111)
5.2.3 电感三点式振荡器——哈特莱振荡器	(113)
5.2.4 两种改进型电容反馈振荡器	(115)
5.3 频率稳定度的意义和表征	(117)
5.3.1 频率稳定度的意义	(117)
5.3.2 对引起频率不稳定因素的讨论	(118)
5.3.3 提高频率稳定度的措施	(119)
5.4 晶体振荡器	(120)
5.5 振荡器中的几种现象	(124)
5.5.1 寄生振荡	(124)
5.5.2 间歇振荡	(125)
5.5.3 振荡器的占据现象	(126)
5.6 RC 振荡器	(127)
5.6.1 文氏电桥振荡器(哈工程)	(127)
5.6.2 RC 相移振荡器	(128)
5.7 负阻振荡器	(129)
5.8 其它高频振荡器和高稳定度合成信号源的简介	(131)
5.8.1 其它高频振荡器	(131)
5.8.2 高稳定度合成信号源	(135)
习 题	(138)
6 频谱的线性搬移	(141)
6.1 非线性电路的分析方法及频谱搬移电路	(141)
6.1.1 幂级数近似法	(141)
6.1.2 线性时变近似性	(142)
6.1.3 开关函数近似法	(143)
6.1.4 差分对电路	(144)
6.1.5 双差分对电路	(145)
6.1.6 晶体三极管频谱线性搬移电路	(147)
6.1.7 场效应管频谱搬移电路	(148)

6.2	振幅调制	(150)
6.2.1	调幅信号的分析	(150)
6.2.2	振幅调制电路	(154)
6.3	调幅信号的解调	(162)
6.3.1	串联式二极管大信号峰值包络检波器	(162)
6.3.2	同步检波	(167)
6.4	变 频	(170)
6.4.1	混频器的工作原理	(170)
6.4.2	变频器的主要技术指标	(171)
6.4.3	混频电路	(173)
6.4.4	混频器的干扰	(176)
6.4.5	混频器的非线性失真	(178)
	习 题	(179)
7	角度调制与解调	(187)
7.1	调角波的性质	(187)
7.1.1	瞬时频率和瞬时相位	(187)
7.1.2	调频波、调相波的数学表达式	(188)
7.1.3	调频波和调相波的频谱和频带宽度及其比较	(189)
7.2	调频器与调频方法概述	(192)
7.2.1	调频器	(192)
7.2.2	调频方法	(192)
7.3	调频电路	(193)
7.3.1	直接调频电路	(193)
7.3.2	间接调频电路	(201)
7.4	鉴频器与鉴频方法	(202)
7.4.1	鉴频器	(202)
7.4.2	鉴频方法	(203)
7.5	鉴频电路	(209)
7.5.1	正交鉴频器	(209)
7.5.2	限幅电路	(211)
7.5.3	差分峰值斜率鉴频器	(211)
7.6	鉴相器与鉴相电路	(212)
7.7	调频收发信机及特殊电路	(216)
7.7.1	调频发射机与调频接收机	(216)
7.7.2	特殊电路	(221)
	习 题	(222)
8	反馈控制电路	(226)
8.1	概述	(226)
8.2	自动相位控制电路	(226)

8.2.1 锁相环路的基本工作原理	(227)
8.2.2 锁相环的基本组成	(228)
8.2.3 锁相环的相位模型	(231)
8.2.4 锁相环路的分析	(231)
8.3 锁相环路的应用	(233)
8.3.1 锁相环路的主要特点	(233)
8.3.2 锁相环路的应用举例	(233)
8.4 集成锁相环	(236)
8.5 自动增益控制	(237)
8.5.1 自动增益控制电路的基本工作原理	(237)
8.5.2 放大器的增益控制	(239)
8.6 自动频率微调	(239)
习 题	(243)
9 通信电路的应用与发展	(244)
9.1 移动无线通信系统	(244)
9.1.1 无绳电话系统	(244)
9.1.2 其它无线通信系统	(248)
9.1.3 个人通信与无线接入系统的发展趋势	(252)
9.1.4 无线通信中的新技术	(253)
9.2 通信设备的整机概念	(254)
9.2.1 无绳电话机的主要性能指标	(255)
9.2.2 TCL HW863(36)P/T SDL (LCD)无绳电话机介绍	(255)
9.3 通信电路的集成化与 EDA	(263)
9.3.1 高频电路的集成化	(263)
9.3.2 高频电路 EDA	(265)
附录 索 引	(270)
参考文献	(282)

1 绪 论

1.1 无线电通信的基本原理

信息传输是人类社会生活的重要内容。没有通信,人类社会是不可想象的。从古代的烽火到近代的旗语,都是人们寻求快速远距离通信的手段。1837年莫尔斯发明了电报,创造了莫尔斯电码,开创了通信的新纪元。1876年贝尔发明了电话,能够直接地将语言信号转换为电能沿导线传送,在这种代码中,用点、划、空隔的适当组合来代表字母和数字,可以说是“数字通信”的雏形。而英国物理学家麦克斯韦1864年发表的“电磁场的动力理论”则为以后的无线电发明和发展奠定了坚实的理论基础。以后经过德国物理学家赫兹、英国的罗吉的发展,1895年意大利的马可尼与俄罗斯的波波夫实现了无线电通信,1901年又首次完成了横渡大西洋的通信。1907年福雷斯特发明的二极管、肖克莱等发明的三极管和后来出现的集成电路极大地推动了无线电的发展,真正地开始进入了无线电的时代。

从发明无线电开始,传输信息就是无线电技术的首要任务。最基本的信息传输手段当然是语言与文字。如音频在空气中的传播速度很慢,约为 340m/s ,而且衰减很快。因此它的声音不可能传得很远,所以人们想到了借助电来传播,首先是将音频信号变成电信号,然后再设法将这信号传输出去。

由天线理论可知,要将无线电信号有效地发射出去,天线的尺寸必须和电信号的波长相当。由原始非电量信息经转换的原始电信号一般是低频信号,波长很长。例如音频信号频率范围为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,对应波长范围为 $15\sim 15000\text{km}$,要制造出相应的巨大天线是不现实的,即使这样巨大的天线制造出来,由于各个发射台均为同一频段的低频信号,在信道中会互相重叠、干扰,接收设备也无法选择所要接收的信号。

因此,为了有效地进行传输,必须采用几百 kHz 以上的高频振荡信号作为载体,将携带信息的低频电信号“装载”在高频振荡信号上(这一过程称为调制),然后经天线发送出去。到了接收端后,再把低频电信号从高频振荡信号上“卸载”下来(这一过程称为解调)。其中,未经调制的高频振荡信号称为载波信号,低频电信号称为调制信号,经过调制的高频振荡信号称为已调波信号。

采用调制方式以后,由于传送的是高频振荡信号,所需天线尺寸便可大大下降。同时,不同的发射台可以采用不同频率的高频振荡信号作为载波,这样在频谱上就可以互相区分开了。

所谓调制,就是按调制信号(基带信号)的变化规律去改变载波某些参数的过程。调制的载波可以分为两类:用正弦型信号作为载波;用脉冲串或一些数字信号作为载波。通过调制,可以进行频谱搬移,把调制信号的频谱搬移到所希望的位置上,从而将调制信号转变成适合于信道传输的已调信号。

对高频信号进行调制时,根据对高频信号参量是幅度、频率、相位三者中的一个,可以分为调幅、调频和调相三种方式,而相应的解调也可以分为三种方式。

所谓调幅就是载波的频率和相角不变,载波的振幅则按照调制信号的变换规律变化。如图 1.1.1 所示就是正弦波调幅的波形图。

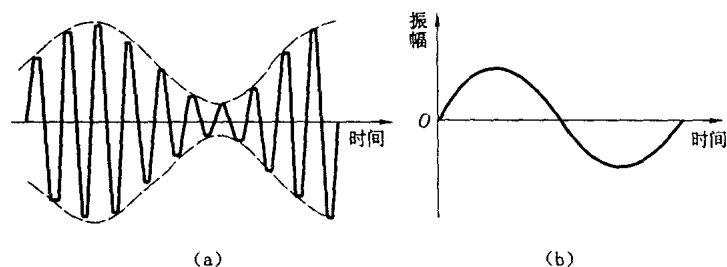


图 1.1.1 正弦调幅波形

(a)调幅波形;(b)原信号波形

所谓调频就是载波振幅不变,载波的瞬时频率则按照信号的变化规律变化。而调相则是振幅不变,载波的瞬时相位则按照信号的变化规律变化。

下面介绍某一调幅电话发射机的原理方框图。如图 1.1.2 所示。

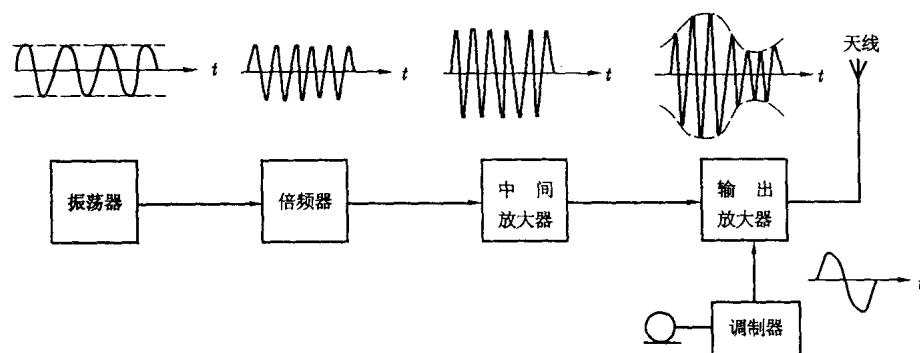


图 1.1.2 调幅电话发射机原理方框图

图 1.1.2 中,发射机的工作过程可简述为:振荡器产生一定频率的最初高频振荡,通常其振荡功率是很小的。倍频器主要是用以提高发射机的频率稳定度以及扩展发射机的波段范围,使其频率倍增到载波频率 f_c 上。中间放大器的主要功用就是将小的振荡功率加以放大,供给输出功率放大器所需的激励。它通常由几级放大器构成,输出放大器的主要功用就是在激励信号的频率上,产生足够的高频功率,送给天线或传输线路。在调幅电话发射机中。振幅调制通常是在输出放大器进行。方框图中的调制器,实际上就是音频放大器,它的功用就是将语音信号放大到所需的功率,使调制信号功率足够大,从而供给输出放大器进行调制。图 1.1.2 中各处的信号波形就反映了上述的工作过程。

无线电信号的接收过程正好和发送过程相反。图 1.1.3 为超外差式接收机的方框图。图 1.1.3 中,高频放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成,用来放大电磁波在天线上感生的有用信号;同时,利用放大器中的谐振回路抑制其它频率的干扰信号。由于谐振放大器的中心频率随所接收信号频率 f_c 的不同而不同,如短波频率范围为 $1.5 \sim 30\text{MHz}$,因此,高频放大器必须是可调谐的。混频器是将高频已调信号(载波频率为 f_c)不失真地变换为载波频率为 f_i 的中频已调信号的变换电路。本机振荡器用来产生频率为 $f_L = f_c + f_i$ 的高频振荡信号。由于 f_c 是随所需接收信号不同而不同,所以,本振频率 f_L 应该是可调的,而且必须正确跟踪 f_c 以

使中频信号 f_1 为固定值(465kHz)。中频放大器用来放大中频调幅信号,由于中频频率是固定的,因此中频放大器的选择性和增益可以设计得很好,并使选择性、放大性等性能得到极大的提高。而检波器则将中频调幅信号反变换为反映传送信息的调制信号。低频放大器由电压放大器和非谐振功率放大器组成,用来放大带有信息的调制信号,向扬声器提供必要的推动功率。

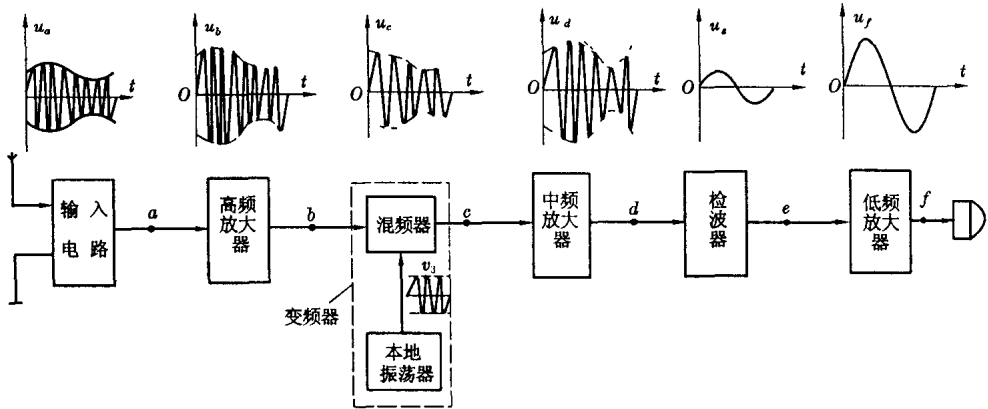


图 1.1.3 超外差式接收机的方框图

1.2 通信的传输媒质

信号从发送端到接收端要通过信道传输,信道是信号的传输媒质,可分为有线信道和无线信道。

有线信道主要有:明线、对称电缆、双绞线、同轴电缆、光纤。

(1)明线 指平行而相互绝缘的架空裸线线路。与电缆相比,它的优点是传输损耗低。但它易受气候和天气的影响,并且对外界的噪声干扰很敏感。

(2)对称电缆 由若干对双线组成电缆,每对线是一个传输路径。为了减少串话,每对线应按特殊的方式扭绞起来,主要用于频率较低时的载波电话和低速数据通信。

(3)双绞线 由两条有绝缘外皮屏蔽的铜线所缠绕在一起的,我们称这两条对绞的线为一对,这也是它最基本的单位。在以太网的组建中运用很广泛。

(4)同轴电缆 当频率较高时,由于趋肤效应,导线电阻增加,而且辐射损失上升,不应采用对称电缆。采用同轴电缆可以解决以上问题。

(5)光纤 以光导纤维为传输媒质、光波为载波的光纤信道,可以提供极大的传输容量。光纤具有损耗低、频带宽、线径细、重量轻、可弯曲半径小、不怕腐蚀、节省有色金属以及不受电磁干扰等优点。光纤通信也已成为一种重要的通信方式。

以上几种信道都是属于恒参信道,这种信道对信号传输的影响是确定的或者是变化极其缓慢的。

无线信道是依靠自由空间来传输信号,无线信道主要有地波、天波、无线视距中继和卫星中继信道。

(1)地波 分为两种:一种是地面波,即电磁波沿地面传播,如图 1.2.1(a)所示;另一种是

空间波,即电磁波在空间两点间的传播,接收点的电磁波由直射波与地面反射波合成,如图 1.2.1(b)所示。

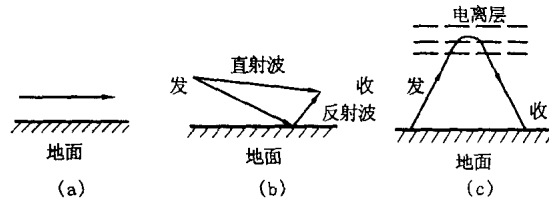


图 1.2.1 电磁波传播的几种方式

(a)地面波;(b)空间波;(c)天波

(2)天波 依靠距离地面一百公里以外的电离层的反射作用完成电磁波传播,这样的电波称为天波,如图 1.2.1(c)所示。

(3)无线电视距传播 指工作频率在超短波和微波波段时,电磁波基本上沿视线传播,通信距离依靠中继方式来延伸。相临中继站间距离一般为 40~50km。它主要用于长途干线、移动通信网及某些数据收集(如水文、气象数据的测量)系统中。

(4)卫星中继信道 人造卫星中继信道可看做是无线电中继信道的一种特殊形式,是用同步通信卫星作为中继站,可以实现地球上 18000km 范围内的多点之间的联接,采用三个适当配置的同步卫星中继站就可以覆盖全球。

沿地面传播的无线电波叫地面波。由于地球表面是有电阻的导体,当电磁波在它上面行进时,有一部分电磁能量被消耗;而且频率越高,地面波损耗亦越大。因此,地面波传播适用于长波和超长波。同时,因为地面导电性能在短时间内没有什么变化,故地面波的传播特性稳定可靠。在无线电发展初期,工作波长选用越来越长的主要原因就在于此。现在,长波和超长波的稳定传播特性仍然受到应有的重视。

我们知道,包围地球的大气层密度是随着离地面高度的增加而减小的。在离地面 50km 以上,空气已经很稀薄,同时太阳辐射与宇宙射线辐射等作用已很强烈,此时空气产生电离。这些被电离了的空气,它们的电离密度是分层分布的,所以叫做电离层。这些电离层由距地面高度从低到高,分别称为 D 层、E 层、F 层等。

随着工作频率的增高,地面波的损耗逐渐增大,电离层反射对天波的影响也开始出现。电磁波到达电离层后,一部分能量被电离层吸收,一部分能量被反射和折射返回地面。频率越高,电离层吸收的能量就越小,所以利用电离层反射通信应采用比较高的频率。但如果频率过高,电磁波就会穿透电离层,不再返回地面。所以,利用电离层通信,采用的频率不能太高也不能太低,一般只用于短波波段。

当频率继续升高进入超短波波段后,地面波衰减极大,天波又会穿透电离层,不能返回地面。这时只能采用如图 1.2.1(b)的空间波方式进行通信。显然,这种通信方式只能限于视线距离范围内,例如广播电视就属于这类。

后来,人们发现超短波(以至微波)利用对流层对电波的散射作用,可使电波传播的距离远远超过视线距离。这就是对流层散射通信。这是利用离地面 12~16km 的大气层的物理特性不是均匀、恒定的特性——它的压力、温度和湿度各处都有所不同,因而折射能力也不一样。波长较短的电波照射到这种不均匀的介质时,将发生杂乱反射,这种现象就是散射。利用这种传播方式,可以使超短波和微波通信的距离大大增加,一般可达到几百公里。不过由于散射的能量

较小,因此散射通信的发射机功率必须较大,接收机的灵敏度也应较高。目前散射通信现已成为在超短波以至微波波段远距离通信的有力手段。

电磁波的传播情况非常复杂,上面只对其作了极其简略的介绍,以便能对它有初步的认识。表 1.2.1 概括了无线电波段的划分、主要特性与用途、所适用的传输媒质等,供参考。

表 1.2.1 无线电波段的划分、主要特性与用途及所适用的传输媒质

级别	频率范围	波长范围	传播特性	主要用途	传输媒质
甚低频 (V. L. F.)	10~30kHz	30000~10000m (超长波)	每日及每年的衰减都极低,特性极其稳定可靠	高功率、长距离、点与点间的通信,连续工作	双线地波
低频 (L. F.)	30~300kHz	10000~1000m (长波)	夜间传播与 V. L. F. 相同,但不可靠。白天,对电波的吸收大于 V. L. F.。频率越高,吸收越大,而且每日与每季均有变化	长距离点与点间的通信,船舶导航用	双线地波
中频 (M. F.)	300~3000kHz 535~1605kHz 为广播波段	1000~100m (中波)	夜间衰减低,白天衰减高,夏天衰减比冬天大。长距离通信不如低频可靠,频率越高越不可靠	广播、船舶通信、飞行通信、警察用无线电、船港电话	电离层反射 同轴电缆
高频 (H. F.)	3~30MHz	100~10m (短波)	远距离通信完全由上空电离层来决定,因此每日、每时与每季都有变化。情况良好时,远距离传播的衰减极低。但情况不好时,则衰减较大	中距离及远距离的各种通信与广播	电离层反射 同轴电缆
甚高频 (V. H. F.)	30~300MHz	10~1m (米波段)	特性与光线相似,直线传播,与电离层无关(能穿透电离层,不被其反射)	短距离通信、电视、调频、雷达、导航	天波(电离层与对流层散射) 同轴线
超高频 (U. H. F.)	300~3000MHz	100~10cm (分米波)	与 V. H. F. 相同	短距离通信、雷达、电视、散射通信、流星余迹通信、无线电移动通信	视线中继传输 对流层反射
特高频 (S. H. F.)	3000~30000MHz	10~1cm (厘米波段或微波)	与 V. H. F. 相同	短距离通信、波导通信、雷达、卫星通信	视线中继传输 视线穿透电离层传输
极高频	30~300GHz	1~0.1cm	与 V. H. F. 相同	射电天文学 雷达	视线传输
自红外线 至紫外线	$5 \times 10^{11} \sim 5 \times 10^{16} \text{Hz}$	$6 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-7} \text{cm}$	与 V. H. F. 相同。水蒸气和氧气有吸收	光通信	光纤

1.3 本书的内容与特点

由第 1.1 节的内容,我们知道,无线通信系统所涉及的基本功能电路包括:小信号放大器、功率放大电路、正弦波振荡电路、调制与解调电路、倍频电路、混频电路等。在以上这些基本功能电路中,大部分属于通信电子线路,这些在书中都将被讨论。另外,包括自动增益控制、自动频率控制和自动相位控制在内的反馈控制电路也是通信电子线路所研究的对象,同时我们也尽可能地介绍一些最新的高频应用技术。

通信电子线路中,大部分是非线性电路,如振荡电路、调制和解调电路、混频电路、倍频电路等。非线性电路必须采用非线性分析方法。非线性微分方程是描述非线性电路的数学模型,但在工程上常采用一些近似分析和求解的方法。

通信电子线路能够实现的功能和单元电路很多,实现每一种功能的电路形式更是多种多样,它们都是在为数不多的基本电路基础上发展起来的。因此,在学习本课程时,要抓住各种电路之间的共性,熟悉某些较典型的单元电路对提高识图能力和电路的系统设计水平都是至关重要的。随着集成电路和数字信号处理技术的迅速发展,各种通信电路甚至系统都可以做一个芯片内,称为片上系统。但要注意,所有这些电路都是以分立器件为基础的,因此,在学习时要注意“分立为基础,集成为重点,分立为集成服务”的原则。在学习具体电路时,做到以点带面,举一反三,触类旁通。

本书所涉及的电路远比低频部分多,但它们都是在一些基本电路基础上发展起来的。因此,在学习本课程的时候不但要掌握各种单元电路的组成、工作原理和分析方法,而且要深入了解它们之间的内在联系,培养分析和解决电子技术问题的能力。

同模拟电子线路一样,本课程的实验性也很强,因此在学好理论课的同时,一定要坚持理论联系实际,重视实验课和有关课程设计环节。

随着电子设计自动化(EDA 技术)的发展,越来越多地应用 EDA 软件来进行电子线路设计,电路仿真分析和电路图、电路板设计,因此,强调掌握先进的高频电路 EDA 技术也是非常重要的。在实际应用中,各种功能电路作为局部电路出现在整体设备中发挥它们的作用。因此,我们将讨论通信电路在无线电通信中的应用及无线电通信设备的整机线路原理,并且介绍性能指标等问题。建立收发信机的整机概念,增强读图能力,为后续的课程打下必要的基础。

习 题

- 1.1 试画出调幅电话发射机的组成方框图,说明各方框的作用,并画出各点的波形。
- 1.2 画出超外差式调幅电话接收机的组成方框图,试说明各方框的作用,并画出各点的波形。
- 1.3 属于随参信道的有(),它们对信号传输的影响是(),属于恒参信道的有()。
- 1.4 音频的频率范围为(),对应波长的范围为()。

2 谐振回路

2.1 谐振回路元件的高频特性

常用到无源元件是线性双通的、不随时间而变的、具有集总参量的电阻、电感线圈和电容器。所谓线性是指元件参量与流经它的电流或加于其上的电压的数值无关；所谓双通是指元件参量与电流方向和电压极性无关；所谓集总参量是指不随空间位置而变的参量。

无源元件上的电流和电压的关系称为元件的伏安特性。在理想情况下，电阻器是一个耗能元件，而电容是储存电能的元件，电感是储存磁能的元件，且线路中的磁能和电能是不能突然改变的，也就是电感线圈中的电流和电容器中的电荷都不能骤然增加。

在线路中引用的无源元件(R 、 L 和 C)都是理想元件，实际上没有这种元件。实际元件应用由不同的等效电路来表示；针对不同的运用情况，应采用最确切的等效电路。

(1) 电阻

一个实际的电阻器，在低频时主要表现为电阻特性，在高频使用时除了表现为有电阻特性外，还具有电抗特性的一面。一个电阻 R 的高频等效电路如图 2.1.1 所示，其中， C_R 为分布电容， L_R 为引线电感， R 为电阻。分布电容和引线电感越小，表明电阻的高频特性越好。电阻器的高频特性与制作电阻的材料、电阻的封装形式和尺寸大小有密切关系。一般说来，金属膜电阻比碳膜电阻的高频特性要好，而碳膜电阻比线绕电阻的特性要好；表面贴装电阻要比引线电阻的高频特性好。频率越高，电阻的电抗成分越明显。在使用时要尽量减小其影响，使之表现为纯电阻。

(2) 电感线圈 L 的高频特性

电感线圈除表现出电感 L 的特性外，还具有一定的损耗电阻 r 和分布电容。在分析一般的长、中、短波频段时，通常可忽略分布电容的影响。因而，电感线圈的等效电路可以表示为电感 L 和电阻 r 串联，如图 2.1.2 所示。



图 2.1.1 电阻的高频等效电路



图 2.1.2 电感线圈的串联等效电路

电阻 r 随频率增高而增加，这主要由于集肤效应的影响。所谓集肤效应是指随着工作频率的增高，流过导线的交流电趋于流向导线表面的现象，参照图 2.1.3，当频率很高时，导线中心部位几乎完全没有电流流过，这相当于导线的有效面积较直流时大为减少，电阻 r 增大。工作频率越高，导线电阻就越大。

在无线电技术中通常用线圈的品质因数来表示线圈的损耗性能。品质因数定义为无功功率与有功功率之比：