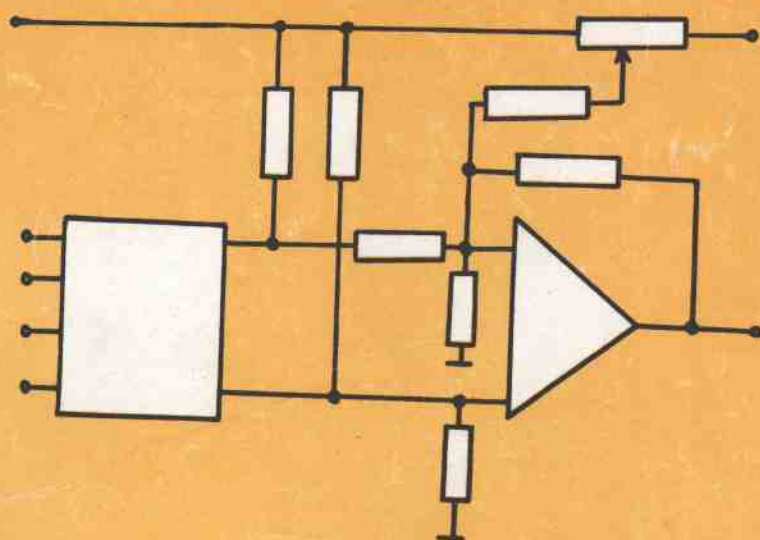


高等学校教材

高频电子线路

杨绍城 主编

杨绍城 陈仲兰 曾君棋 编



电子科技大学出版社

高频电子线路

杨绍城 主编

杨绍城 陈仲兰 曾君棋 编

电子科技大学出版社

• 1993 •

内容提要

全书共分为七章:绪论、小信号谐振放大器、谐振功率放大器、正弦波振荡器、频谱搬移电路、角度调制和解调、反馈控制电路。

本书可作为高等学校电子技术类、无线电技术类各专业本科生教材,亦可作为科技人员及工程技术人员的自学参考书,经过适当精简和压缩内容还可作相应各专业的各种专科生使用。

〔川〕新登字 016 号

高频电子线路

杨绍城 主编

杨绍城 陈仲兰 曾君棋 编

*

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号)邮编 610054

成都市立彩印厂印刷

新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.875 字数 540.64 千字

版次 1993 年 6 月第一版 印次 1993 年 6 月第一次印刷

印数 1—6000 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-777-4/TN·153

定价:13.20 元

前 言

高频电子线路是电子技术类、无线电技术类各专业的一门主要技术基础课。考虑到电子科技大学是我国电子技术类各专业配套较为齐全的一所大学,应有一本适应于本校各专业统一使用的教材。出于此目的,编者积“高频电子线路”教学经验的基础上,较为全面地参考了国内各种有关教材及部分国外教材,同时根据电子技术类各专业特点的需要,于1988年编写成了《高频电子线路》教材。经过了本校各专业本科及校内外各种大专学生多届使用,认为其内容和深浅均较为适当。

本书在编写过程中既注意了严密的数学推导而又避免了一些较为繁杂的数学运算,并注意了加强基本概念的阐述,贯穿了工程分析和工程计算的观点,重点分析典型单元电路,并介绍了多种通用模拟集成电路及其应用。习题经过精选而不重复,基本上体现了各章的主要内容和基本计算的需要。编写方法上力求讲清各种功能电路的基本原理及基本工程估算方法。例如将振幅调制、振幅解调及混频等按其频谱搬移的共同特点进行编写,并将“乘法器”作为核心贯穿全章,将各部分内容有机地联系起来,而不着重全面介绍各种实用电路。其目的在于培养学生独立分析和解决问题的能力,这是开拓型人才培养之所需。

本书的编著出发点在于加强基础,起点适当。教材在经过多届本科生使用后,在广泛征求和听取了专家们及广大电子科技大学学生们宝贵意见的基础上,经过数次修改,该书问世。

本书由杨绍城主编,全书共分为七章:其中第一章、第四章及第五章由杨绍城编写,第二章、第三章由曾君棋编写,第六章、第七章由陈仲兰编写,全书最后由杨绍城定稿。

电子科技大学杨国雄教授仔细地审阅了本书的全部原稿,并提出了许多宝贵的意见。罗松筠副教授亦对本书原稿及修改稿提出了宝贵意见,并对本书的出版给予了大力支持。

本书经数次修改后,最后由北京理工大学罗伟雄教授主审,对全书进行了仔细的审阅,对本书的出版给予了极大的关心、支持和鼓励。

电子科技大学教务处,研究生部黄香馥教授、刘昌孝副教授及自动化系的同志,为本书的出版给予了大力的支持。

对以上所有对本书审阅和关心支持的同志,我们深切表示谢意。

限于编者的水平,书中难免有不妥和错误之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

1992年12月

目 录

第一章 绪 论

§ 1-1 无线电信号传输原理	(1)
1-1-1 无线电广播发射机的工作过程和基本原理	(1)
1-1-2 无线电广播接收机的工作过程和基本原理	(3)
§ 1-2 无线电信号的传播	(4)
§ 1-3 无线电波段的划分	(5)
§ 1-4 干扰与噪声	(6)
1-4-1 周期性干扰	(6)
1-4-2 非周期性干扰	(7)
1-4-3 噪声系数	(8)
§ 1-5 本书的研究对象和内容	(9)

第二章 小信号谐振放大器

§ 2-1 概述	(10)
2-1-1 小信号谐振放大器的特点	(10)
2-1-2 晶体管 Y 参数及其等效电路	(11)
2-1-3 并联谐振回路和耦合谐振回路	(12)
§ 2-2 单调谐回路谐振放大器	(23)
2-2-1 单级单调谐回路谐振放大器	(23)
2-2-2 多级单调回路谐振放大器	(27)
§ 2-3 双调谐放大器	(31)
§ 2-4 谐振放大器的稳定性	(32)
2-4-1 放大器的输入导纳和输出导纳	(32)
2-4-2 稳定性分析	(34)
2-4-3 提高放大器稳定性措施	(36)
2-4-4 谐振放大器的设计举例	(38)
§ 2-5 集成电路谐振放大器	(40)
2-5-1 集成块的类型	(40)
2-5-2 选频电路	(41)
2-5-3 集成中频放大器	(44)
习题	(45)

第三章 谐振功率放大器

§ 3-1 谐振功率放大器基本工作原理	(48)
3-1-1 丙类工作状态效率高的原因	(48)
3-1-2 电路特点和基本工作原理	(49)
3-1-3 谐振功率放大器分析方法	(50)

§ 3-2 丙类谐振功率放大器工作状态的分析	(51)
3-2-1 谐振功率放大器的性能分析	(51)
3-2-2 谐振功率放大器的三种工作状态	(53)
3-2-3 各极电压(E_c 、 E_b 、 U_{bm} 、 U_{cm} 或 R_e)变化对工作状态的影响	(55)
§ 3-3 功率晶体管的高频效应	(58)
§ 3-4 谐振功率放大器电路	(60)
3-4-1 直流馈电电路	(61)
3-4-2 匹配电路	(63)
3-4-3 谐振功率放大器的工程设计原则和举例	(71)
§ 3-5 高效率谐振功率放大器与功率合成	(75)
3-5-1 丁类谐振功率放大器	(75)
3-5-2 功率合成器	(78)
§ 3-6 V_{MOS} 场效应管功率放大器与集成功率放大器	(80)
3-6-1 V_{MOS} 场效应管功率放大器	(80)
3-6-2 集成功率放大器	(80)
§ 3-7 倍频器	(82)
3-7-1 晶体管丙类倍频器	(82)
3-7-2 乘积倍频器	(84)
习题	(87)
附录 3-1 余弦脉冲分解系数表	(89)
附录 3-2 传输线变压器	(93)

第四章 正弦波振荡器

§ 4-1 概述	(97)
§ 4-2 振荡器的基本工作原理	(98)
4-2-1 自激振荡的基本原理	(98)
4-2-2 反馈振荡原理	(99)
4-2-3 反馈振荡器的振荡条件	(100)
§ 4-3 LC 正弦振荡器	(105)
4-3-1 变压器耦合反馈振荡器	(106)
4-3-2 三点式反馈振荡器	(107)
4-3-3 场效应管和差分对管 LC 振荡电路	(112)
§ 4-4 LC 振荡器的频率稳定	(115)
4-4-1 频度准确度和频率稳定度	(115)
4-4-2 LC 振荡器频率稳定度的分析	(116)
4-4-3 稳频措施	(119)
4-4-4 电容三点式振荡器的改进型电路	(121)
§ 4-5 晶体振荡器	(124)
4-5-1 石英谐振器	(125)
4-5-2 晶体振荡器电路	(129)
§ 4-6 文氏电桥振荡器	(136)
§ 4-7 集成电路振荡器	(141)
习题	(143)

第五章 频谱搬移电路

§ 5-1 非线性器件在频谱搬移电路中的作用	(149)
5-1-1 非线性系统的基本分析方法及非线性器件特性的解析函数表示	(149)
5-1-2 非线性器件的相乘作用	(151)
5-1-3 线性时变工作状态的分析	(152)
§ 5-2 振幅调制	(155)
5-2-1 普通调幅波	(156)
5-2-2 双边带调制和单边带调制	(161)
5-2-3 调幅电路	(164)
§ 5-3 振幅调制波的解调	(178)
5-3-1 振幅调制波的解调方法及其电路实现模型	(178)
5-3-2 晶体二极管包络检波电路	(181)
5-3-3 同步检波电路	(197)
§ 5-4 混频	(199)
5-4-1 概述	(199)
5-4-2 混频电路的频谱搬移作用、电路实现模型及其质量指标	(200)
5-4-3 晶体三极管混频电路	(204)
5-4-4 混频器的组合频率干扰和非线性失真	(212)
5-4-5 晶体二极管混频电路	(219)
§ 5-5 集成模拟乘法器在频谱搬移电路中的作用	(225)
5-5-1 单片集成 BG314 和 XFC-1596 模拟乘法器	(226)
5-5-2 集成模拟乘法器 BG314 外接电路的计算及调零技术	(231)
5-5-3 BG314 和 XFC-1596 在频谱搬移电路中的应用	(233)
习题	(238)

第六章 角度调制和解调

§ 6-1 调角波的性质	(244)
6-1-1 调角波的数学表示式	(244)
6-1-2 调角波的频谱、有效带宽和功率	(246)
§ 6-2 调频方法和调频电路的主要指标	(250)
6-2-1 实现调频的方法	(250)
6-2-2 调频电路的主要指标	(251)
§ 6-3 直接调频电路	(251)
6-3-1 变容二极管直接调频电路	(251)
6-3-2 电抗管调频电路	(257)
6-3-3 晶体振荡器直接调频电路	(260)
§ 6-4 间接调频电路	(262)
6-4-1 变容二极管调相电路	(263)
6-4-2 脉冲调相电路	(265)
§ 6-5 扩展频偏的方法	(267)
§ 6-6 调角波的解调	(268)
6-6-1 概述	(268)
6-6-2 波形变换鉴频法的鉴频电路	(270)

6-6-3 脉冲计数式鉴频器	(282)
6-6-4 集成电路鉴频器	(285)
§ 6-7 振幅限幅器	(289)
6-7-1 振幅限幅器的作用、性能、组成	(289)
6-7-2 限幅器电路	(290)
习题	(292)

第七章 反馈控制电路

§ 7-1 概述	(296)
§ 7-2 自动增益控制电路	(299)
7-2-1 自动增益控制电路的工作原理和分析方法	(299)
7-2-2 增益控制电路	(300)
§ 7-3 自动频率控制电路	(302)
7-3-1 自动频率控制电路的工作原理和分析方法	(303)
7-3-2 自动频率控制电路的特性	(304)
§ 7-4 自动相位控制电路——锁相环路(PLL)	(306)
7-4-1 锁相环路的基本工作原理	(306)
7-4-2 锁相环路性能	(313)
7-4-3 锁相环路的时域响应和频域响应	(315)
7-4-4 模拟集成锁相环路及其应用	(319)
习题	(325)

第一章 绪 论

§ 1-1 无线电信号传输原理

信息传输是人类生活中必不可少的重要内容之一。从广义来说,传输信息的系统,称为通信系统。换言之,凡是能够实现将信息从发送者传送到接收者的信息传输的系统,均可称为通信系统。例如,利用导线来传送信息的系统称为有线通信系统;而利用电磁波传送信息的系统则称为无线通信系统;利用光导纤维传送信息的系统称为光纤通信系统等等。

在无线电电子学这门学科中,通信系统是其中的一个重要分支,自从无线电发明起始,传输信号就成了无线电技术的首要任务。现今,虽然无线电电子学技术领域在迅速扩大,但信息的传输与处理仍不失为它的主要内容。

在现代无线电技术中,不论是无线电广播、通信、电视或雷达等,都是利用发射机、接收机、天线以及无线电波来传输信号的。

信号的传输是通信系统的基本任务,而信号本身则是通信系统的工作对象。正弦信号和矩形脉冲是两种最简单、最基本的,但又是具有典型意义的信号。正弦信号是我们熟知的一种基本信号,在电视、雷达和数字电路中则要用到矩形脉冲信号。而实际的信号则是千变万化,多种多样,比上述两种基本信号要复杂得多的信号。例如语音、电视、雷达和数据信号等等。日常生活中最常见的是声音信号。正弦信号与各种复杂信号之间存在着一定的内在联系,即无论什么形式的复杂信号,都可分解为许多不同频率的正弦信号之和。

下面将通过具有典型意义的无线电广播信号的发射与接收的工作过程,来进一步阐明无线电信号传输的原理。根据这个原理也可以传送任何其它形式的信号,只不过是根据不同的信号做成相应的发射机和接收机而已。

1-1-1 无线电广播发射机的工作过程和基本原理

图 1-1 所示为一广播发射机的方框图。

信号的表示方法大致有三种:一种是写出它的数学表示式,另一种是画出其波形图,再一种就是采用频谱表示法。在上述方框图中,我们采用波形图法,无论是低频信号或高频振荡信号均用正弦波信号表示之。

其简单工作过程是:被传送的低频信号(如语言、音乐)经过放大后去对发射机中的高频振荡进行调制,使高频振荡的某一参数(例如振幅或频率)跟随低频信号而改变。然后将此携带有低频信号的已调高频振荡加到发射天线上,天线便向周围空

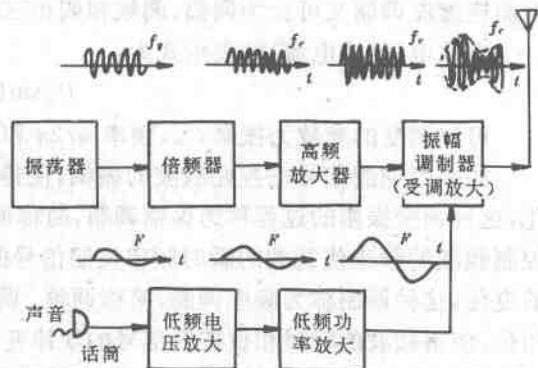


图 1-1 广播发射机的方框图

间辐射电磁波。

从发射机的方框图及其简单工作过程可知：一个广播发射装置应包括下述几个组成部分：低频部分、高频部分、发射天线与传输线部分和电源四个部分。

其中的各种放大器、主振器等均需要供给直流电源，它是能量转换的来源，而电源部分对发射机的工作原理没有影响，故在图中未画出。

低频部分包括低频电压及功率放大器。此外换能器的作用是将信息变为电信号，如信息为讲话的声音，则换能器就是将声音变换为电信号的话筒（或称麦克风）。

天线及传输线部分将在有关课程中专门论述。

下面着重介绍发射机高频部分的工作原理，特别强调的是调制的作用和方法。

振荡器是无线电发射装置的基本单元，它的作用是用来产生恒定频率的高频振荡信号，是一个将直流电能转换为交流电能的能量转换器。广播用的高频振荡都是正弦波，用它来运载声音信号，所以把它叫做载波，它的频率称为载频。为了提高频率稳定度，主振级往往采用石英晶体振荡器，并在其后面加一缓冲级，以减弱后级对主振器的影响。

高频放大器由多级谐振放大器（包括倍频器）串接组成，用来放大振荡器产生的振荡信号，提供足够的载波功率，以达到额定的发射功率。同时使频率倍增到所需的发射频率上。

目前我国中短波段语言广播大都采用调幅制，故方框图所示的广播发射机即是调幅广播发射机。振幅调制器可实现调幅功能，它将调制信号和载波信号变换为已调幅波信号，然后加到发射天线上。

调制在各种信息传输系统中的作用至关重要。利用无线电技术传输各种不同信息的方式都要用到调制和解调。

所谓调制，就是将所要传送的信号（一般频率较低）“装载”到高频振荡上，用电信号去控制高频振荡的某一参数，使这个参数按照电信号的规律变化的一种处理方式。通常将携有信息的电信号称为调制信号，而未经调制的高频振荡则称为载波信号，经过调制后的高频振荡信号称为已调波信号。高频电流（或电压）就好像是“运载工具”，它载着信号向空间辐射。

调制的方法一般分为两大类：连续波调制和脉冲调制。脉冲波调制是先用信号去控制一脉冲序列中各脉冲的参数（脉冲幅度、宽度或位置等），然后再利用这已调的脉冲序列去对载波进行调制。因而脉冲调制有脉冲振幅、脉宽、脉位、脉冲编码调制等多种调制。后续课程中将讨论这种调制。本课程讨论的是连续波调制。这种调制是用信号来控制载波的振幅、频率或相位，因而连续波调制又可分为调幅、调频和调相三种方法。

载波电压（或电流）的表示式为：

$$U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可以调变的参数为振幅 U_m 、频率 $\omega/2\pi$ 和相角 φ （又称初相位）。

如果用调制信号去控制载波的振幅，使得振幅不再是常数而是按照调制信号的规律而变化，这种调变振幅的过程称为振幅调制，简称调幅。调幅时载波频率与相角不变。而用信号去控制载波的频率使载波的瞬时频率按照信号的规律变化，这时瞬时频率的变化就反映了信号的变化，这种调制称为频率调制，简称调频。调频时载波振幅不变。同理，用信号去控制载波的相位，使得载波的瞬时相位按照信号的规律变化，这种调制称为相位调制，简称调相。调相时载波的振幅也不变。由于瞬时频率变化和瞬时相位变化二者有着相对应的变化规律，或者说，调频和调相均表现为总相角受到调变，因此亦可将二者统称为角度调制，简称调角。经过调制的已调波已是属于可发射的高频振荡，因而可通过发射天线以电磁波形式向空间辐射。

这里自然会提出一个问题,不经调制能否将调制信号直接馈送到天线上去辐射呢?回答是否定的。首先,只有当信号波长与天线的尺寸可比拟时,天线才能有效地辐射电磁波。对于语音信号来说,其频谱分布在 $300\text{Hz} \sim 3000\text{Hz}$ 之间,相应的天线尺寸则要求为几百公里。即使以天线尺寸为被辐射信号波长的 $1/4$ 或者 $1/10$ 计,也要求天线的尺寸为几十公里以上。显然这样的天线无法实现。其次,被传送信号直接辐射,那么各电台所发出的信号频率就会相同。接收机将同时收到许多不同电台的节目,无法选择出所要接收的信号。再就是,发射机和接收机均采用天线调谐回路,可使得发射和接收效率高,而调制信号的频率范围却很宽,要求天线和调谐回路的参数在很宽的范围内变化是难以实现的。采用调制的办法,将信号分别托附于不同频率的载波上,即不同的电台可以采用不同的载波频率,接收机就能从载波信号频率中选择出所需频率的信号而不互相干扰。频率足够高的已调波信号加到天线,相应天线的尺寸可大为缩小,易于实现,天线辐射效率则大大提高。因此,上述调制必不可少。

1-1-2 无线电广播接收机的工作过程和基本原理

图 1-2 所示为采用调幅方式的无线电广播接收机的组成方框图。这种接收机由于采用了混频器、本机振荡器和中频放大器来提高接收机的性能,为区别于早期的接收机,故称之为超外差式接收机。

无线电信号的接收过程正好和发送过程相反。

其简单工作过程是:利用天线将从空中接收到的微弱电磁波变为已调波电流,经过可调谐的高频放大器选择出所需接收的信号,并同时放大信号。放大后的高频已调信号与本振频率相混频,变为频率较低而且固定的中频已调信号。经中频放大器放大后,由检波器检出原来的调制信号,再经低频放大器放大去推动终端设备(如耳机、扬声器等)。

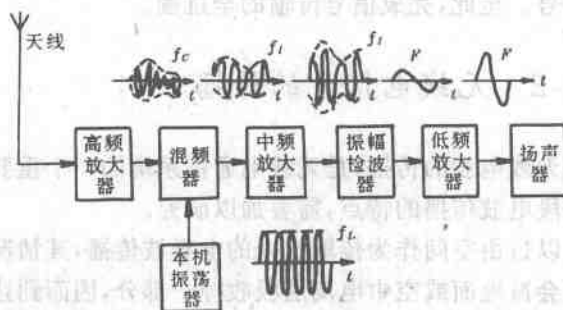


图 1-2 无线电广播接收机组成方框图

图 1-2 中高频放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成。由于接收天线所收到的不仅是我们希望收到的电台信号而且还包含着若干个来自不同电台的,具有不同频率的无线电信号。因而高频放大器的作用是,抑制天线上感生的其它频率的干扰信号和将微弱的有用信号放大。为此,高频放大器应是频率可调谐的小信号谐振放大器。

混频器部分是超外差式接收机的核心。它的作用是将接收到的载波频率为 f_c 的高频已调信号不失真地变换为载波频率为 f_i 的固定中频已调信号。我国广播接收机的中频为 465kHz 。

本地振荡器又叫外差振荡器,它的作用是产生一个混频所需的外差信号,该信号是频率为 f_L 的正弦信号。其频率需满足 $f_L = f_c + f_i$ 或 $f_L = f_c - f_i$ 的关系。由于 f_i 为固定值,而 f_c 则随所需接收的信号不同而不同,外差信号的频率应始终保持和被接收信号频率相差 f_i 的数值。因此本地振荡器的振荡频率必须是可调的,且 f_L 必须正确跟踪 f_c 。

混频器和本地振荡器往往共用一个电子器件,二者合为一个电路,就称之为变频器。

中频放大器是一种频带较宽的谐振放大器。它的主要作用是放大中频已调波信号。它与高频放大器相同之处是,二者均采用谐振回路作负载。其差异有二:一是由于削弱邻近电台干

扰是中放的任务之一,故而中放具有接近矩形的理想谐振曲线。二是中放具有工作频率固定与级数多两个特点。因而中放由多级固定调谐的小信号谐振放大器组成。

振幅检波器的作用是将中频已调幅信号变换为反映传送信号的调制信号,实现解调功能。

上述介绍的高频放大器、中频放大器,其主要任务是在很多干扰和信号中选择出所需要的信号并加以放大。由于它们的输出信号的频率与输入信号的相同,因此,这些部分是接收机的线性部分。

在接收机中完成频率变换的部分是变频和检波器。信号通过它们以后,频率会发生变化。变频将高频变成中频,检波器则将中频变为低频。要完成频率变换,必须采用非线性器件。因此,这些部分是接收机的非线性部分。此外振荡器也属于非线性部分。

低频放大器的作用是用来放大携有信息的调制信号,以提供足够功率推动扬声器。它由小信号放大器和非谐振功率放大器组成。

扬声器是一个换能器,它将电信号还原为所传送的信息。在调幅广播中信息为讲话的声音,那么扬声器就将电信号变换为声音。

信号由发射机以电磁波的形式向空中辐射,电磁波经空中的传播,再经接收机还原成原来的信号。至此,完成信号传输的全过程。

§ 1-2 无线电信号的传播

无线电波的传播,是无线电通信系统的一个重要环节。因此,对于电波传播的方式以及不同波段电波传播的特点,需要加以研究。

以自由空间作为传输媒介的电磁波传播,其情况是比较复杂的。电磁波在传播途中,它的能量会被地面或空中电离层吸收掉一部分,因而到达接收机时,会产生较大的衰减。电波在传播途中会被电离层或地面反射,也会在大气层中产生折射、散射、绕射及直射等现象。电波的传播有专门课程论述,这里只作简略的介绍。

根据电磁波的波长或频率范围不同,电波的传播方式也是不同的。一般可分为下述三种传播方式:

地面波:这是一种电波的绕射传输。绕着地球弯曲表面传播的无线电波叫做地面波。由于大地表面不是理想的导体,当电波沿地球表面传播时,将有一部分电磁能量被消耗,频率越高,损耗越大;频率越低,损耗越小。一般 1500kHz 以下(波长 200 米以上)的中、长波段主要靠地面波传播。如果采用短波甚至超短波作地面波传播,则损耗增大,传播距离也要小得多。故采用中、长波比较合适。地面波传播如图 1-3(a)所示。需要指出的是:由于地面的导电性能在较短时间内的变化不大,所以地面波的传播比较稳定可靠,不受气候变化的影响。

天波:利用天空电离层的折射和反射而传播的电波称为天波,也叫天空波。由于太阳和星际空间的辐射引起大气电离而形成的电离层,距离地面高度为 100 公里至 500 公里。电磁波到达电离层后,一部分能量被电离层吸收,一部分能量被折射与反射反回地面,如图 1-3(b)所示。一般来说,波长较长的电磁波容易从电离层反射回地面,而波长较短的则会穿过电离层传播到宇宙空间去。对于长波而言,由于频率较低,电离层对它反射角度小,电离层吸收的就多,损失就大,因而长波无法靠电离层传播。而频率高于 30MHz 以上的超短波则会穿过电离层,不再返回地面。因此适于传播频率为 $6\text{MHz}\sim 30\text{MHz}$ (波长为 10~50 米)的短波段。短波通信就是依靠电离层来传播的。短波天空波传播时有两个突出的特点:一是传播距离较远。但也因此而

会造成离开短波发射台一定距离的范围内,有一段信号无法到达的中间静区地带,如图中 AB 所示,静区随波长的缩短而扩大。二是由于电离层的高度及电子和离子的密度随昼夜和季节的变化而变化,所以短波的传播很不稳定。接收到的信号往往会突然减弱,甚至有时会无法接收,这种现象称为衰落,它是短波通信的严重问题。因此利用短波通信时必须根据电离层的情况,经常更换波段,才能保证较好的通信。

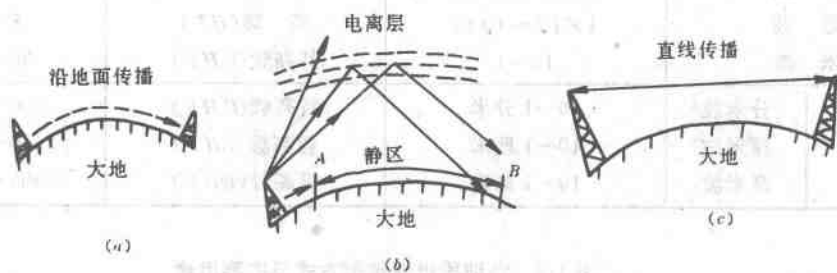


图 1-3 无线电波传播方式
(a)地面波 (b)天波 (c)空间波

短波天空波除主要用于无线电广播,无线电话和电报通信外,也可用于宇宙通信。

我国采用的中波广播的频率范围是 $535 \sim 1605 \text{ kHz}$,主要用于中近距离的无线电广播。前已述中波的传播特性和长波相似。它在白天主要靠地面波传播,但地面对中波的影响比长波还大,因而衰减较快,致使中波在白天的传播距离不可能很远。在白天中波受到电离层的吸收特别厉害,故它不能依靠电离层来传播。但在晚上,电离层的作用减弱对中波的吸收作用减小,此时中波可利用天空波传播到较远的距离,故较远的中波电台,白天不易收到,晚上却很清楚就是这个原因。

空间波:频率高于 30 MHz 以上的超短波段,电磁波主要沿空间直线传播,如图 1-3(c)所示。传播的距离只能在视距范围以内,这是因为地球表面是一个曲面的缘故。架高天线可使视距范围加大。例如,当发射天线高度为 200 米,接收天线高度为 10 米时,视距约为 70 公里。超短波和微波在电离层中折射很小,且绕射能力也不强,所以通常是靠直线传播的,这些波段主要用于中继通信、调频广播和电视,此外也广泛用于雷达与导航、卫星通信、遥控遥测等系统中。超短波和微波的传播还有一种重要的方式,就是利用对流层(距离地面 $12 \sim 16$ 公里之间的大气层)对电波的散射作用而使电波能够传播到大大超过视线距离的地区。这就叫做电离层散射通信或对流层散射通信。

§ 1-3 无线电波段的划分

无线电波的频谱很宽,不同频率的无线电波具有电磁波的共同特性。但由于波长不同,因而又有它们各自的特殊性,根据它们的特点可划分为下列各个波段,见表 1-1。

表中将无线电的频率范围划分为若干个区域,叫做频段,也叫做波段。

上述各个无线电波段,其电波传播的特点也各不相同,各波段所使用的元件、器件及电路结构与工作原理也各有差异。因此各波段的用途也各不相同,这样作了上述波段划分后,对问题的分析和讨论都会带来很大的方便。表 1-2 给出了各波段电波传播的方式及主要用途。

表 1-1 无线电波频段的划分

波段名称		波长范围	电波名称	频率范围
极长波		1×10^5 米以上	极低频 (ELF)	3 千赫以下
超长波		$1 \times 10^5 \sim 10^4$ 米	甚低频 (VLF)	3~30 千赫
长波		$1 \times 10^4 \sim 10^3$ 米	低频 (LF)	30~300 千赫
中波		$1 \times 10^3 \sim 10^2$ 米	中频 (MF)	300~3000 千赫
短波		$1 \times 10^2 \sim 10$ 米	高频 (HF)	3~30 兆赫
米波		10~1	甚高频 (VHF)	30~300 兆赫
微波	分米波	10~1 分米	特高频 (UHF)	300~3000 兆赫
	厘米波	10~1 厘米	超高频 (SHF)	3000~30000 兆赫
	毫米波	10~1 毫米	极高频 (EHF)	30000~300000 兆赫

表 1-2 各波段电波传播方式及主要用途

波段名称	电波传播方式	主要用途
长波	主要靠地波,但超过几千公里的远距离则靠天波	通信、远洋导航等
中波	白天靠地波,晚上天波和地波均可传播	通信、导航及广播等
短波	主要靠天波,但几十公里的近距离用地面波	通信、导航及广播等
米波	用空间波	通信、电视、调频雷达及导航
微波	近距离靠空间波,远距离用对流层传播	通信、电视、雷达、导航、天文等

注 1. 长波以下的波段,可做大功率、长距离的通信,但现已很少应用,故未列出。

2. 表中列出系主要用途,且未详述,例如波段不同,通信可是长距离、中距离、短距离通信、船舶通信、飞行通信、散射通信、流星余迹通信、波导通信等。

§ 1-4 干扰与噪声

无线电通信系统的基本任务是传送信号。但信号在传输过程中会受到各种各样的外部和内部的干扰。当干扰很严重时,即使接收机的其它指标均良好,接收机也无法正常工作。为此研究干扰问题是无线电技术的一个重要课题。

从广义上来说,有用信号以外的任何电压或电流都叫干扰,或称之为噪声。信号在传输过程中会受到叠加在被传送信号之上的各种有害的电振荡的干扰和无线电设备内部所产生的噪声的影响。

一般干扰可以分为周期性干扰和非周期性干扰两大类。周期性干扰具有固定的周期或频率,电台干扰就是一种周期性的干扰。非周期性干扰则没有固定的周期,脉冲干扰和内部起伏噪声都是非周期性的干扰。

1-4-1 周期性干扰

电台干扰是指其它无线电发射设备所产生的干扰。这种干扰在各个无线电波段中都会存在,尤以短波波段内各电台间的干扰特别严重。

随着无线电技术的发展,无线电各个波段的电台日益增多,造成频道拥挤。如果接收机的选择性不够好,或是由于某些邻近电台的信号不符合规定的要求,那么接收机除接收到所需接收的信号之外,邻近电台的信号也会窜入接收机中成为有害干扰。

1-4-2 非周期性干扰

一、脉冲干扰

工业电火花,雷电脉冲干扰均属脉冲干扰。当这种有害的脉冲干扰加到检波器上,经过低放级放大后,就会在扬声器中发出“喀拉”声。产生脉冲干扰的来源有两种:

一是工业干扰。工业干扰是由各种各样的电气设备产生的。它是由于各工业电气设备中的电流或电压的急剧变化,形成电磁场作用在接收机上引起的。例如启闭电灯的开关时,接收机可以听到“喀拉”声;又如电动机、吹风机、电焊机、电钻、发电机、电气开关,以及X光机、电疗机、高频电气装置、拖拉机的点火系统等。它们在工作中由于产生火花放电而伴随电磁波辐射,或者本身就存在电磁波辐射,这些电磁场都会干扰接收机。工业干扰信号的频谱分布范围很宽,可以从极低的频率开始一直到几百兆赫的超高频波段。在工业集中、电气设备多的城市中,这种干扰特别严重。

另一是天电干扰。它是大气层中的各种电骚动所引起的干扰。自然界的雷电现象是这种干扰的主要来源。此外,带电的雨滴、雪花和灰尘的运动,以及它们与天线的碰撞都会引起天电干扰。天电干扰的频谱主要在波长较长的波段。

二、内部噪声

除了系统设备的外部干扰以外,设备本身也会产生各种各样的干扰,其中尤以设备内部产生的噪声最为重要,在某些情况下,噪声的强度可能会超过微弱的有用信号,在这种情况下对有害噪声的作用必须予以高度重视。通常在接收机喇叭中听到的“沙沙”声就是内部噪声。它的频谱分布范围极广,几乎可以认为从零频率开始一直到无穷大。内部噪声主要由电阻和晶体管内部的带电微粒无规则运动所产生,具有起伏噪声的性质。起伏噪声也称为白噪声。

1. 电阻热噪声

物质中的带电微粒(自由电子)在一定的温度下总是处于“无规则”的热运动状态的,从而形成无规则的起伏电流或电压。由于温度引起电阻中自由电子热运动所产生的起伏噪声电流或电压称为电阻热噪声。

2. 天线热噪声

由于天线周围介质中的微粒处于不断的杂乱无章的热运动状态,因而会产生起伏电磁场。这种电磁波辐射被天线接收后,又由天线辐射出来。天线和周围介质不断交换能量,当接收与辐射的噪声功率相等时,处于热平衡状态,这样便产生了热噪声。

此外,还有一种宇宙噪声,这是一种外来干扰,但它作用在天线上产生的噪声,具有内部噪声所具有的起伏噪声性质,故在此顺便提出。宇宙噪声又称之为宇宙干扰,它是一种来自大气层外宇宙间各种天体的各种电磁辐射。太阳辐射是一种具有很宽频谱的辐射源,它的频谱分布可以从米波、分米波一直到可见光以外的频段。此外,银河系中的一些恒星以及远离地球的星球也会产生各种频率的辐射。各种天体的电磁辐射都会使得接收天线上的噪声增加。

3. 晶体管的内部噪声

(1) 热噪声

由于晶体管存在着基区电阻 $r_{b'}$ 电子的热运动会产生较大的噪声。而发射区和集电区的体

电阻因其很小,可以忽略而不考虑其噪声。

(2)散粒噪声

从发射极注入基区的少数载流子是一个随机的量,其数目在每一瞬间都是不相同的,少数载流子的涨落便构成发射极电流和集电极电流的起伏,由此引起的噪声称为散粒噪声或散弹噪声。

(3)分配噪声

注入基区的少数载流子在基区的复合是随机的,从而使发射极电流 I_e 通过分配成 I_c 、 I_b 而得到的 I_b 、 I_c 也跟随基区载流子复合数量的变化而变化,这种变化所引起的噪声称为分配噪声。

(4)闪烁噪声

可认为是热的产生与复合过程中偶然发生的本性,它的大小与半导体材料及其表面清洁处理及漏电流等有关。噪声频谱与 f 成反比。这种噪声主要在低频范围产生影响,通常在 1000Hz 以下的频率范围较为显著。故又称为低频噪声或 $1/f$ 噪声。

此外,半导体二极管、场效应管等各种电子器件也会产生内部噪声。

1-4-3 噪声系数

噪声的有害影响是相对于有用信号而言的。因此衡量一个设备的噪声性能不能只是简单地以设备的输出噪声功率大小来作为衡量标准,如果脱离了信号的大小来谈噪声就会失去意义。

信号与噪声之间的相互关系通常用它们的功率比来表示,称为信号噪声比,简称信噪比,用符号 $S/N = P_s/P_N$ 表示之。那么能否以信噪比来衡量一个设备的噪声性能呢? 这里需要弄清楚的是:信噪比可以表明信号的质量,但外部噪声的大小并不能反映出设备对信号质量的影响。一个设备其输出端的信噪比不仅与其内部的噪声功率有关,还与输入端的信噪比有关。为此,衡量一个设备噪声性能的好坏,最好的方法是用信号通过设备前后信噪比的变化来表示其噪声性能,这就是噪声系数的概念。

设某一设备为一四端网络(例如整个接收机可看作是一个四端网络,其中的高频放大器、变频器、等均可看作为四端网络),则噪声系数 N_F 为

$$N_F = \frac{P_{Si}/P_{Ni}}{P_{So}/P_{No}}$$

式中, P_{Si} 为四端网络的输入信号功率; P_{Ni} 为四端网络的输入噪声功率; P_{So} 为四端网络的信号输出功率; P_{No} 为四端网络的输出噪声功率。

引入噪声系数 N_F 后,就可以较简单地判别出内部噪声的大小,适于工程计算。

如果四端网络是一理想无噪声的网络,则其输入端的信号和噪声均得到同样的传输,输出端的信噪比与输入端的信噪比相同,于是 $N_F = 1$ 。若四端网络本身有噪声,则输出端的噪声功率将等于信号经四端网络传输后的输入功率和网络本身的噪声功率之和。显然信号经网络传输后,输出端的信噪比就低于输入端的信噪比,即 $N_F > 1$ 。

在工程计算上,常采用将 N_F 取对数后以 dB 表示之。即

$$N_F = 10 \log N_F (\text{dB})$$

当代无线电技术的研究中,噪声问题愈来愈引起人们的兴趣和重视。

§ 1-5 本书的研究对象和内容

电子线路是指包含有电子器件(晶体二极管、晶体三极管及场效应管等)并能实现特定电功能的电路,它广泛应用于各种电子设备中,按其工作频率的高低可分为“低频电子线路”和“高频电子线路”;按电子器件的工作特点及其分析方法的不同又可分为“线性电子线路”和“非线性电子线路”。本教材是按前一种分法来编写的。

通过绪论一章的学习,对无线电信号的传输原理已有基本的了解。无论发送或接收设备都包含低频(视频)和高频(射频)两大部分。此外还有天线、馈线及电波的传播。本书主要是研究其高频(射频)部分的,这就是发送端的主振、倍频、调制;高频调谐功率放大和接收端的高放、混频、本振、中放、解调等。

电子线路的种类很多,我们的任务仅限于讨论集中参数无线电高频(射频)电路的基本工作原理、分析方法及其计算。高频电路就其功能而言,它有实现信号(小信号和大信号)的放大功能,实现振荡的功能以及实现波形变换和频率变换的功能。

根据上述所研究高频各部分的内容及电路的实现功能,将全书分为七章。

第一章为绪论,主要研究信号传输的原理。干扰和噪声是现代无线电系统。特别是无线电接收机的一个十分关键的问题,如何降低干扰和噪声的影响,是提高各种无线电设备质量的一个重要课题。但考虑到只有在掌握了无线电设备的基本原理和线路后才能作深入的研究,同时噪声问题将在有关课程中专门探讨,加之学时有限,因而我们将其列在绪论一章中作概念性的介绍。

第二章为高频小信号调谐放大器。它包括了高频放大器和中频放大器。

第三章为高频功率放大器。这类放大器为在高频、大信号工作的电路,其特点是管子在安全工作及失真允许的条件下,高效率的输出大功率。严格分析时必须解非线性微分方程,本章仅介绍工程上采用的准线性的近似分析法。由于按高低频之分,本章除重点讨论高频谐振功率放大器外还讨论了宽带高频功率放大器。

第四章为正弦波振荡器。包括振荡原理和正弦振荡器电路,关于采用温度补偿、精密恒温箱的高稳定晶体振荡器,编写较为简单,只作一般介绍。

第五章为频谱搬移电路。考虑到振幅调制及解调、变频电路都是属于频谱搬移电路,因此编写时将此三部分内容合为一章编写。

第六章为角度调制及解调电路。它们都属于频率非线性变换电路,因此编写时合为一章。

第七章为反馈控制电路。它是综合应用了非线性器件的放大作用和频率变换作用所构成的反馈电路,因此单独列为一章。本章讨论了各种反馈控制电路的作用、工作过程及其应用。

就总体而言,全书由放大电路(高频放大器和高频功率放大器)、正弦波振荡电路和频率变换电路三部分组成。

高频电子线路是无线电技术类、电子技术类各专业的一门重要技术基础课,在编写中我们力求讲清物理本质、基本原理和基本分析方法,同时给出了一些具有典型性的电路,并介绍了一些新的电路技术。