

21世纪普通高等教育电子信息类规划教材

高频电子线路

黄亚平 主编



免费
电子课件

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高频电子线路是电子信息、通信类专业的主要技术基础课程,是“低频(模拟)电子线路”课程的后续内容。高频电子线路研究的是高频信号的产生、发射、接收和处理的相关电路,主要解决无线电广播、电视和通信中发射与接收信号的有关技术问题。

本书主要内容有:选频与滤波电路、高频小信号放大电路、高频功率放大电路、正弦波振荡器、频率变换电路、振幅调制与解调、角度调制与解调、数字调制与解调、反馈控制与频率合成等电路。

本书根据应用型本科的教学要求和特点,注重理论与实践相结合,重视理论知识的实际应用,在书末附有高频电子线路有关内容的相应实验,以及 EWB 软件在高频电子线路的应用实例。

本书可作为高等学校应用型本科高职高专电子信息、通信类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师索取,电子邮箱: wbj@mail.machineinfo.gov.cn。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/黄亚平主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 6

21 世纪普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-21470-0

I. 高... II. 黄... III. 高频 - 电子电路 - 高等学校 - 教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 067161 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王保家 版式设计:张世琴 责任校对 李秋荣

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 415 千字

标准书号 ISBN 978-7-111-21470-0

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

我国高等教育已进入大众化教育阶段，出现了大量地方普通本科院校（地方普通本科院校主要为地方经济建设服务），其中许多地方普通本科院校定位为应用技术型本科教育。为适应应用技术型本科教育教学的需要，急需出版应用技术型本科教材。

本书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基本要求编写，是高等学校应用型本科电子信息类和通信类专业的教材，主要内容包括：高频电子线路概论、选频和滤波电路、高频小信号放大器、正弦波振荡器、频率变换电路、高频功率放大器、振幅调制与解调、角度调制与解调、数字调制与解调、反馈控制电路和频率合成器，以及 EWB 软件在高频电子线路的应用实例。

本书注重应用型本科的特点，着重基本概念、基本分析方法和基本计算方法的介绍；重点培养学生分析问题和解决问题的能力，理论联系实际的能力和实际应用能力；在学习基础知识和基本电路的基础上，较多介绍了相应新型元器件和集成电路的有关知识和应用实例。本书每章均有小结、习题。书末附有实验项目，供教学中选用。本书的参考学时为 60 学时左右。书中加 * 号的章节可以选修。

本书由黄亚平主编，杨新盛编写第八章，其余由黄亚平编写，哈尔滨理工大学刘全盛教授主审。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师索取，电子邮箱：wbj@mail.machininfo.gov.cn。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

思考题与习题 36

第一章 高频电子线路概论 1

第一节 信息传输的发展 1

一、古代的信息传输 1

二、近现代通信技术的发展 1

第二节 无线电通信系统和无线电波特性 2

一、无线电通信系统 2

二、无线电波特性 3

第三节 无线电信号的产生与发射 4

第四节 无线电信号的接收 6

本章小结 7

思考题与习题 7

第二章 选频和滤波电路 9

第一节 概述 9

第二节 串联谐振回路 10

一、串联谐振回路的参数和特性 10

二、串联谐振回路的应用 13

第三节 并联谐振回路 14

一、并联谐振回路的参数和特性 14

二、并联谐振回路的应用 17

第四节 回路的阻抗变换 17

一、串并联回路的阻抗等效互换 17

二、回路部分接入的阻抗变换 18

第五节 耦合回路 22

一、耦合回路的概念 22

二、耦合回路的频率特性 22

第六节 滤波电路 24

一、LC 谐振式滤波器 25

二、石英晶体滤波器 30

三、陶瓷滤波器 32

四、声表面波滤波器 33

五、RC 滤波器 35

本章小结 35

第三章 高频小信号放大器 37

第一节 概述 37

第二节 晶体管高频小信号放大等效电路 38

一、Y 参数等效电路 38

二、混合 π 形等效电路 40

三、晶体管的高频参数 40

第三节 高频小信号谐振放大器 42

一、单级单调谐放大器 42

二、多级单调谐放大器 45

三、双调谐放大器 47

四、放大器的稳定性 48

五、场效应晶体管高频小信号放大器 50

第四节 集成电路高频小信号放大器 50

一、线性宽频带集成放大电路 50

二、集成电路选频放大器 52

第五节 噪声与干扰 54

一、电路内部噪声的来源 55

二、噪声系数 57

三、无源网络的噪声系数 59

四、噪声温度 59

五、多级网络的噪声系数 60

六、晶体管放大器的噪声系数 61

七、场效应晶体管放大器的噪声系数 63

八、常用减小噪声系数的措施 63

九、外部干扰的类型和抑制 64

本章小结 66

思考题与习题 66

第四章 正弦波振荡器 68

第一节 概述 68

第二节 反馈型正弦波振荡器原理 68

一、反馈型正弦波振荡器的组成 68

二、起振过程与起振条件 69

三、振荡平衡过程与平衡条件	69	一、混频器的主要性能指标	107
四、振荡器平衡状态的稳定条件	70	二、混频器	108
五、振荡器的频率稳定度	71	三、混频干扰	111
第三节 LC 振荡器	72	四、零中频混频	113
一、互感耦合振荡器	72	本章小结	115
二、三点式振荡器	73	思考题与习题	115
第四节 晶体振荡器	78		
一、并联型晶体振荡器	78	第六章 高频功率放大电路	117
二、串联型晶体振荡器	79	第一节 概述	117
三、泛音晶体振荡器	80	第二节 丙类谐振功率放大电路	118
* 第五节 RC 振荡器	80	一、丙类谐振功率放大电路的工作	
一、RC 移相式振荡器	81	原理	118
二、文氏电桥振荡器	81	二、丙类谐振功率放大电路的特性	
第六节 集成电路振荡器应用介绍	83	分析	121
一、E1648 集成振荡器	83	三、谐振功率放大器的电路组成和输出	
二、副载波恢复电路中的压控振荡器		匹配网络	127
(VCO)	84	第三节 丁类高频功率放大电路	131
* 第七节 负阻振荡器	86	一、电流开关型功率放大电路	132
一、负阻器件	86	二、电压开关型功率放大电路	133
二、负阻型 LC 正弦波振荡器	86	第四节 宽带高频功率放大电路	134
三、起振与平衡稳定条件	88	一、高频变压器耦合的性能要求	134
四、负阻振荡器的电路	88	二、传输线变压器的性能和匹配电路	135
第八节 正弦波振荡器的选用	89	三、共射—共基级联宽带高频功率放	
一、振荡器类型选择	89	大器	138
二、振荡管的选择	90	第五节 功率合成技术	140
三、偏置电路的确定	90	一、T 形混合网络工作原理	140
四、振荡回路的参数	90	二、功率合成电路实例	142
第九节 寄生振荡	91	第六节 晶体管倍频器	143
一、寄生振荡的表现形式	91	第七节 高频功率放大电路应用举例	145
二、寄生振荡的产生原因及其防止方法	92	一、分立元件高频功率放大电路	145
本章小结	93	二、集成高频功率放大与控制电路	145
思考题与习题	94	本章小结	146
		思考题与习题	147
第五章 频率变换与混频电路	97		
第一节 概述	97	第七章 振幅调制与解调	149
第二节 非线性元器件的特性及分析方法	97	第一节 概述	149
一、非线性元器件的特性	97	第二节 振幅调制原理	150
二、非线性电路的分析方法	98	一、普通调幅 (AM)	150
三、线性时变工作状态分析法	101	二、双边带调幅 (DSB AM)	152
第三节 模拟乘法器	103	三、单边带调幅 (SSB AM)	154
一、模拟乘法器的基本概念与特性	103	四、残留边带调幅 (VSB AM)	156
二、集成模拟乘法器	105	第三节 调幅电路	156
第四节 混频电路	107	一、高电平调幅	157

二、低电平调幅	158	二、二进制移相键控 (2PSK) 解调器 ...	196
第四节 调幅信号解调原理	159	第五节 二进制差分移相键控 (DPSK)	197
一、包络检波	159	一、二进制差分移相键控 (DPSK) 信号	
二、同步检波	163	的产生	197
第五节 正交调幅与解调	164	二、二进制差分移相键控 (DPSK) 信号	
一、正交调幅调制电路	165	的解调	197
二、正交调幅解调电路	165	第六节 多进制数字调制与解调	198
本章小结	166	一、四进制移相键控 (QPSK)	198
思考题与习题	166	二、其他多进制调制	200
第八章 角度调制与解调	168	本章小结	200
第一节 概述	168	思考题与习题	201
第二节 角度调制与解调原理	169	第十章 反馈控制电路	202
一、调频 (FM)、调相 (PM) 的瞬时频		第一节 概述	202
率、瞬时相位、波形及表达式	169	第二节 自动增益控制电路	203
二、单音信号调制的调角波	170	一、工作原理	203
第三节 调频电路	178	二、应用举例	204
一、直接调频电路	178	三、放大器增益控制	205
二、间接调频电路	181	四、AGC 电压的产生	206
第四节 鉴频电路	182	第三节 自动频率控制电路	208
一、斜率鉴频	183	一、工作原理	208
二、相位鉴频	185	二、自动频率微调电路	209
第五节 调频、鉴频的应用	186	第四节 锁相环路	210
一、发射机用集成电路	186	一、工作原理	210
二、接收机用集成电路	187	二、锁相环路的捕捉与跟踪	214
本章小结	189	三、锁相环路的窄带特性	215
思考题与习题	190	四、锁相环路的基本特性	215
第九章 数字调制与解调	191	第五节 集成锁相环路及其应用	215
第一节 概述	191	一、集成锁相环路	215
一、二进制调制和多进制调制	191	二、锁相环路的应用	217
二、绝对调制和相对调制	192	本章小结	220
第二节 二进制幅度键控 (2ASK)	192	思考题与习题	220
一、二进制幅度键控 (2ASK) 的调制 ...	192	第十一章 频率合成电路	222
二、二进制幅度键控 (2ASK) 信号		第一节 概述	222
的解调	193	第二节 频率直接合成	223
第三节 二进制移频键控 (2FSK)	194	一、非相干式频率直接合成	223
一、二进制移频键控 (2FSK) 信号		二、相干式频率直接合成	224
的产生	194	第三节 锁相环频率合成	225
二、二进制移频键控 (2FSK) 信号的		一、单环锁相环频率合成器	225
解调	194	二、多环锁相环频率合成器	228
第四节 二进制移相键控 (2PSK)	195	第四节 集成锁相环频率合成器	230
一、二进制移相键控 (2PSK) 调制器 ...	195	一、MC145106 电路原理及应用	230

二、MC145146 电路原理及应用	232	实验五 高频谐振功率放大电路	241
本章小结	233	实验六 调幅与检波	243
思考题与习题	234	实验七 变容二极管调频电路	245
附录	235	实验八 比例鉴频器的调试与测量	247
附录 A 高频电子线路实验	235	实验九 锁相环路	248
实验一 高频谐振电路与滤波电路		附录 B 计算机仿真软件 EWB 在高频	
特性	235	电子线路中的应用	250
实验二 高频小信号谐振放大器	237	一、EWB 软件的简介	250
实验三 电容三点式振荡及晶体振荡		二、EWB 软件的应用实例	252
电路	238	参考文献	261
实验四 混频电路	240		

第一章 高频电子线路概论

第一节 信息传输的发展

一、古代的信息传输

所谓信息 (information) 可概括为对客观世界现状和变化的反映。人类有视、听、嗅、味、触等感官, 可以感知声、光、气味、味道、热、力等物理化学现象和变化。有研究表明, 人对外界信息的获取 80% 以上来自视觉和听觉, 而从远处获取信息更是主要依靠眼睛和耳朵。在古代人们曾用烽火报告敌情, 用军旗来指挥战斗, 用战鼓和号角来传达军令, 这都是用声光现象和变化直接向远处传递信息的例子。但人的视觉和听觉范围是有限的, 更远距离的信息传输不能直接用声光现象来完成, 如何向远处传送信息成为古代人类的重要问题。文字的出现推动了信息技术的发展。文字可认为是有一定意义的图形和符号, 文字是人眼可见的信号, 文字的发明使人类可以记录语言 and 知识。东汉的蔡伦 (约 63 ~ 121 年) 发明了纸, 纸的发明使文字便于记载和保存, 北宋的毕升 (约 1051 年) 发明了活字印刷术, 印刷术的发明使文字信息能够大量复制。文字、纸张、印刷术的发明极大扩展了人类对信息和知识的记录、产生、保存和传输的能力 (中国人在文字、纸张、印刷术的发明上做出了重大贡献)。于是人类向远处传送信息可以借助运载工具, 在古代人们曾用快马、车船、飞鸽远距离传递书信, 这就是古代的通信。这样虽然实现了信息的远距离传送, 但往往需要相当长的时间, 不能快速及时地送达。我国古代人民曾创造出千里眼、顺风耳等神话, 反映出古代人民渴望实现远距离快速获得视听信息的愿望。

二、近现代通信技术的发展

19 世纪人类逐步掌握电磁学理论并付诸实践后, 信息的远距离快速传输才有了新的进展。1837 年莫尔斯 (F. B. Morse) 发明了有线电报, 1864 年麦克斯韦 (J. Clerk Maxwell) 发表了“电磁场的动力理论”, 1876 年贝尔 (Alexander G. Bell) 发明了有线电话 (telephone)。有线电话和电报 (telegraph) 的发明将声音和文字变成电信号传送, 能够迅速、准确地远距离传送信息, 是通信技术的重大突破。但有线通信仍需要依靠有线线路来传送信息, 使用上受到一定限制。能否不要传输导线, 在空间传送信息, 这是人们迫切需要解决的问题。不久之后发明的无线电通信 (radio communication), 就解决了这个问题。

由电磁学的基础理论可知, 交变的电流可感应出交变的磁场, 交变的磁场又可引起交变的电场, 由此产生电磁波 (electromagnetic wave)。频率高的电磁波易向空间传播, 远距离传输无需导线, 称为无线电波。1895 年马可尼首次在几百米距离实现电磁波通信, 1901 年又完成了横跨大西洋的无线电通信。从此无线电通信进入发展阶段。

由于无线电波能方便快捷地向空间传播,所受限制较少,因此广泛地用于各种信息的传输。现代社会将无线电技术用于通信 (communication)、广播 (radio)、电视 (television)、遥感 (remote sensing)、遥测 (telemetry)、雷达 (radar) 和导航 (navigation) 等领域。由于它们都涉及信息的传输,所以可称为广义的无线电通信系统。通常无线电波适合于远距离信息的传输,近距离可以进行有线传输。由于现代人们需要近距离控制的设备增多,有线传输显得有些困难和麻烦,所以近距离的无线通信也在发展,如蓝牙技术就是一种近距离的无线通信技术。

信息和信息传输技术在现代社会是极为重要的。信息的传输也就是通信,所谓通信就是通过第三方(人或设备系统)传输和交换信息的过程。通信是快速、准确地获取和掌握信息的重要方式。

在各种信息传输技术中,无线电通信是最方便的。现在人们可用移动电话方便自由地通话,可用收音机收听各个国家的无线电广播,可用电视机收看世界各地的电视节目,基本实现了古代人们千里眼、顺风耳的愿望。高频电子线路 (high frequency electronic circuit) 就是研究和解决无线电通信、广播和电视中有关技术问题的学科。

第二节 无线电通信系统和无线电波特性

一、无线电通信系统

由于无线电通信在信息传输中的重要作用,下面对无线电通信系统进行简要介绍。

无线电通信系统由发射装置 (transmitting set)、传输媒质 (transmission medium) 和接收装置 (receiver) 构成,如图 1-1 所示。

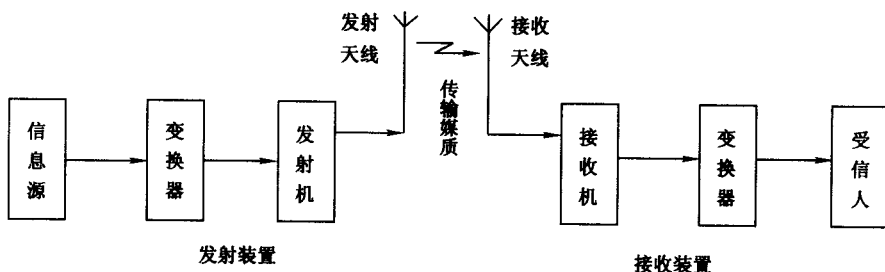


图 1-1 无线电通信系统组成框图

信息源发出需要传送的信息,如声音、图像、文字等,由变换器 (convertor) 把这些原始信息转换成相应的电信号,然后由发射机 (transmitter) 把这些电信号转换成高频振荡信号,发射天线 (transmitting antenna) 再将高频振荡信号转换成无线电波 (radio wave),向空间发射。无线电波的传输媒质是自由空间。接收天线将接收到的无线电波转换成高频振荡信号,接收设备把高频振荡信号转换成低频电信号,再由变换器还原成原来传递的信息 (声音、图像、文字等),最后信息接收人就收到传递的信息。

二、无线电波特性

高频电子线路的研究对象主要是无线电发送与接收设备的有关电路的原理、组成与功能,所以先了解一下无线电波在传输媒质中的传播特性和有关规律也是必要的。

无线电波的传播速度极快,与光速相同,约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。无线电波的波长 (wavelength)、频率 (frequency) 和传播速度的关系为

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

式中 λ ——波长,单位为 m;

c ——传播速度,单位为 m/s;

f ——频率,单位为 Hz。

由上式可知,因传播速度固定不变,频率越高,波长越短;频率越低,波长越长。

无线电波的频率相差很大,因而波长变化很大。不同波长的无线电波传播规律不同,应用范围也不同,因此通常把无线电波划分成不同波段。表 1-1 列出常见波段名称、波长范围、频段名称、频率范围和主要用途。

无线电波在空间的传播途径有三种:

- 1) 沿地面传播,叫地波 (ground wave),如图 1-2a 所示;
- 2) 依靠电离层的反射传播,叫天波 (sky wave),如图 1-2b 所示;
- 3) 在空间直线传播,叫直线波,如图 1-2c 所示。

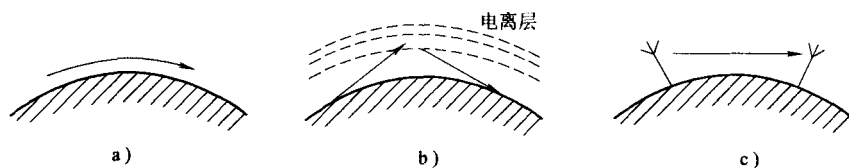


图 1-2 无线电波的传播方式

a) 地波 b) 天波 c) 直线波

波长不同的无线电波在空间的传播特性不同,长波 (long wave) 和中波 (medium wave) 的波长较长,遇障碍物绕射能力强,且地面的吸收损耗较少,可沿地面远距离传播,所以长波和中波的通信和广播主要以地波方式传播。

短波 (short wave) 的波长较短,地面绕射能力弱,且地面吸收损耗较大,不宜地面传播,但短波能被天空的电离层 (ionosphere) 反射到远处,因此短波的广播和通信主要以天波方式传播。

波长比短波更短的无线电波称为超短波 (ultra short wave)。超短波的波长很短,往往小于地面障碍物 (如山峰、建筑物等) 的尺寸,所以不能绕过;且地面吸收损耗很大,所以不能以地波方式传播。还有超短波能穿透电离层,即电离层很难反射它,所以也不能以天波方式传播。超短波只能在空间以直线波方式传播,而地球的表面是球面的,因此它的传播距离受到限制,并且与发射和接收天线的高度有关。调频 (frequency modulation) 无线电广播、无线电电视广播、无线寻呼均属超短波通信,只能以直线波方式传播。

波长比超短波更短的无线电波称为微波 (microwave)。微波的波长非常短,它的特性与

超短波类似,而且空间直线传播的特性更明显。移动通信 (mobile communication)、空间遥测、雷达导航、卫星和空间通信、蓝牙技术等均属微波通信。

波长比微波更短的是光波 (light wave),光波本质上也是一种电磁波。光波包括红外线 (infrared light)、可见光和紫外线 (ultraviolet radiation)。光波在空间都是直线传播。红外线控制技术在彩色电视和电子设备的遥控上已广泛使用,光纤通信 (optical fiber communication) 不易受干扰,可进行远距离、高速率的数据通信,它们都属于光通信范畴。

表 1-1 常用电磁波的波段和频率

波段名称	波长范围	频段名称	频率范围	传输介质	主要用途
甚长波	$10^5 \sim 10^6 \text{ m}$	音频 (VF)	$3 \sim 0.3 \text{ kHz}$	有线电线	音频、电话、数据传送
超长波 (VLW)	$10^4 \sim 10^5 \text{ m}$	甚低频 (VLF)	$30 \sim 3 \text{ kHz}$	有线电线和自由空间	音频、电话、数据传送
长波 (LW)	$10^3 \sim 10^4 \text{ m}$	低频 (LF)	$300 \sim 30 \text{ kHz}$	有线电线和自由空间	海上船舶通信、长距离导航
中波 (MW)	$10^2 \sim 10^3 \text{ m}$	中频 (MF)	$3 \sim 0.3 \text{ MHz}$	同轴电缆和自由空间	中波广播、业余无线电通信
短波 (SW)	$10 \sim 10^2 \text{ m}$	高频 (HF)	$30 \sim 3 \text{ MHz}$	同轴电缆和自由空间	短波广播、军事通信、业余无线电通信
超短波	$1 \sim 10 \text{ m}$	甚高频 (VHF)	$300 \sim 30 \text{ MHz}$	同轴电缆和自由空间	电视、调频广播、无线电通信
微波	$1 \sim 10 \text{ dm}$	特高频 (UHF)	$3 \sim 0.3 \text{ GHz}$	同轴电缆、波导和自由空间	电视、雷达导航、移动通信、蓝牙技术、空间遥测
	$1 \sim 10 \text{ cm}$	超高频 (SHF)	$30 \sim 3 \text{ GHz}$	波导和自由空间	微波接力、雷达、卫星和空间通信射电天文学
	$1 \sim 10 \text{ mm}$	极高频 (EHF)	$300 \sim 30 \text{ GHz}$	波导和自由空间	
	$0.1 \sim 1 \text{ mm}$	亚毫米频段	$3000 \sim 300 \text{ GHz}$	波导和自由空间	
光波 (红外线、可见光、紫外线)	$0.1 \sim 10 \mu\text{m}$			光纤和自由空间	红外遥控、光纤通信、直接光通信

第三节 无线电信号的产生与发射

在无线电通信的发射部分,原始信息 (声音、图像、文字等) 由变换器转换成相应的电信号,这些电信号的频率对应于原始信息,称为基带信号 (base band signal)。基带信号的特点是频率较低,相对频带较宽。以声音的转换为例:声音的频率范围为 $20 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$,由声电变换器转换成的音频 (audio frequency) 电信号频率也是 $20 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$ (波长在 $10^4 \sim 10^7 \text{ m}$ 的数量范围),属于低频范围。低频振荡电流能量较低,辐射力弱,不宜发射;而且因频率低,波长很长,由天线理论可知,发射和接收天线的尺寸和波长应为同一数量级,这就要求天线尺寸巨大,实际上无法实现;另外如果真的能直接发射音频信号,那么多家电台发射的音频信号频率范围将是相同的,接收机将无法区分各个电台的信号,就会造成相互的干扰,因此不能直接发射音频信号。由变换器转换得到的图像和文字的基带信号频率也较低,

同样也不能直接发送。

由此可见,要实现无线电通信,首先必须产生高频 (high frequency) 振荡信号,再把基带低频 (low frequency) 信号加到高频振荡信号上,去控制它的参数,这称为调制 (modulation),然后把已受基带低频信号调制的高频振荡信号放大后经发射天线发射出去,这样的高频已调无线电波就携带了基带低频信号一起发射。未经调制的高频振荡信号好比“运载工具”,称为载波 (carrier wave) 信号;基带低频信号称为调制信号;经调制携带有基带低频信号的高频振荡信号称为已调波信号。当系统传输的基带信号是模拟 (analog) 信号时,称为模拟通信系统;当系统传输的基带信号是数字 (digital) 信号时,称为数字通信系统。虽然基带信号不同,但通信系统的原理和组成是相同的。

高频载波通常是一个正弦波振荡信号,有振幅、频率和相位三个参数可以改变。用基带信号对载波进行调制,有调幅、调频和调相三种调制方式。

1) 调幅 (AM, Amplitude Modulation): 载波的频率和相位不变,载波的振幅按基带信号的变化规律变化。调幅获得的已调波称为调幅波。中短波广播和电视的高频图像信号都是调幅波。

2) 调频 (FM, Frequency Modulation): 载波的振幅不变,载波的瞬时频率按基带信号的变化规律变化。调频获得的已调波称为调频波。调频广播和电视的高频伴音信号都是调频波。

3) 调相 (PM, Phase Modulation): 载波振幅不变,载波的瞬时相位按基带信号的变化规律变化。调相获得的已调波称为调相波。调频和调相又统称为调角。

由于调幅应用较早而且使用广泛,现以图 1-3 所示的调幅广播发射机框图为例来说明发射设备的主要组成。

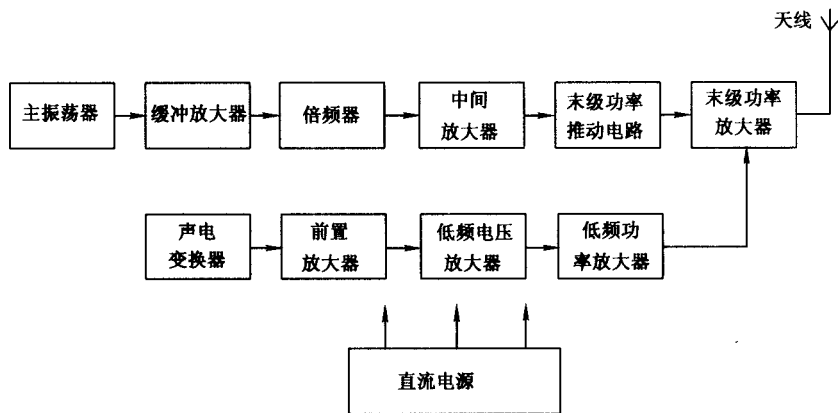


图 1-3 调幅广播发射机框图

发射机通常由高频、低频、电源和天线 4 部分组成。

高频部分包括主振荡器 (master oscillator)、缓冲放大器 (buffer)、倍频器 (frequency double)、中间放大器、末级功率推动电路和末级受调功率放大器 (modulated amplifier)。主振荡器的作用是产生频率稳定的高频振荡,现多采用石英晶体振荡器。缓冲放大器用来减轻后级对主振荡器的影响。因石英晶体产生的振荡频率不能太高,所以用倍频器来提高频率。

倍频后还需多级放大,以达到推动末级功率放大器的电平。末级高频功率放大器则将输出功率提高到所需的发射功率,并受低频功率电平的调制。

低频部分包括声电变换器(传声器)、前置放大器、低频电压放大与低频功率放大器,用于实现声电变换,并将音频信号逐级放大到调制所需功率,对末级高频功率放大进行调制。

直流电源部分给各部分电路提供直流电能。

天线部分把高频已调波信号通过天线以电磁波形式辐射出去。

第四节 无线电信号的接收

无线电信号的接收是发送的逆过程,其作用是对载有信息的高频已调波信号接收处理,从中获得需要的信息。

现以调幅广播的接收为例介绍无线电信号的接收过程。

要接收无线电信号,首先要有接收天线(receiving antenna)。由于空间无线电信号有很多个,要获得需要的信号,还须有选频电路,以选取需要的信号,并把不需要的信号滤除。接收的无线电信号是高频已调波,须经过解调(demodulation)才能获得原来的调制信号,即音频信号。音频信号作用到电声变换器(耳机)转换成声音后被接收人听到。最简单的接收机是由接收天线、选频电路、解调器(检波器)和输出变换器(耳机)四部分组成,如图1-4所示。

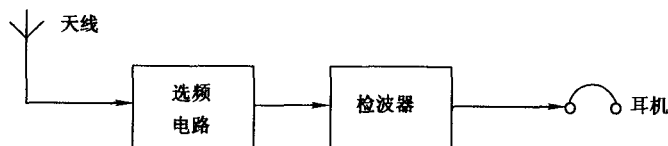


图 1-4 最简单的接收机框图

最简单的接收机电路很简单,性能很差,由于天线接收到的无线电信号很微弱,通常只有几十微伏到几毫伏,直接送检波器检波,检波效率很低,检波后获得的音频信号更弱,只有用耳机进行电声变换才能听到微弱的声音。为了提高接收性能,检波前的高频信号和检波后的音频信号都需要放大,这就形成了直接放大式接收机,其组成如图1-5所示。

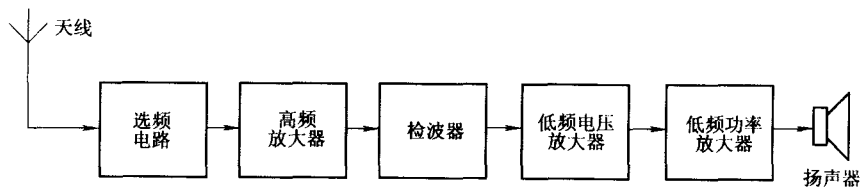


图 1-5 直接放大式接收机框图

直接放大式接收机在选频电路后有高频放大器,对选频后的高频信号放大。这样送到检波器的高频信号幅度增大,检波效率提高,检波器输出的音频信号幅度可达几百毫伏,再经低频电压放大和低频功率放大后,推动扬声器发声,其收听效果要比最简单接收机好得多。

其灵敏度 (sensitivity) 有所提高, 但还不够好, 因为通常只有一级高频放大; 其选择性 (selectivity) 也还不够好, 因为只有一级选频电路。而且在频段的高端, 高频放大器的放大倍数比低端要低, 对高端电台的接收效果就会差一些, 而频段低端电台的接收效果要好一些, 整个频段内电台的接收效果不均衡。为克服这些缺点, 现在的接收机都采用超外差式电路。图 1-6 是超外差式接收机 (super heterodyne receiver) 组成框图。

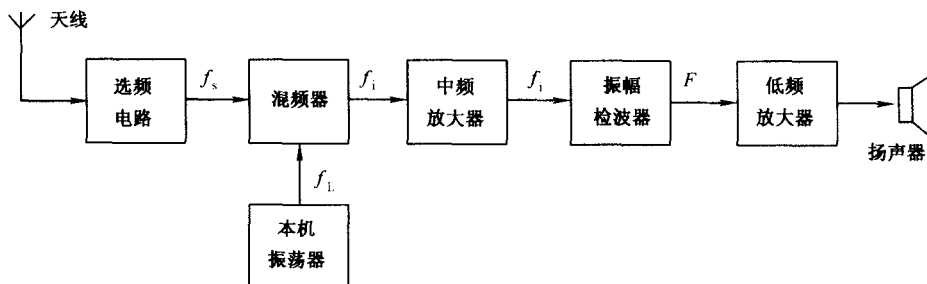


图 1-6 超外差式接收机框图

与直接放大式接收机相比, 超外差式接收机增加了混频和本机振荡电路。混频电路是用晶体管的频率变换作用, 把选频电路的外来高频已调波信号, 与本机振荡电路所产生的本机高频振荡信号相混合, 混频器 (mixer) 的输出就会产生新的差频, 这个差频的频率是本机振荡频率与外来高频信号频率之差。从混频器的输出信号中由选频电路选出这个差频, 这个差频通常称为中频 (intermediate frequency)。我国中、短波调幅广播接收机的中频是 465kHz。这就要求本振频率比外来信号频率超出一个差频, 这就是超外差式接收机名称的由来。由于超外差式接收机的中频是固定不变的, 不随外来高频信号频率改变而变化, 不管是频段的高端还是低端, 经混频后获得的中频频率都是一样的。这样在某一频段内高端和低端电台信号的中频放大倍数都是相同的, 整个频段的接收效果是均衡的。中频放大器的工作频率较低, 且固定不变, 其性能可做得很好。而且可设有几级中频放大, 每级都有选频回路, 这样放大倍数很高, 整机灵敏度就高, 选择性也好。由于超外差式接收机具有这些优点, 现在常用的收音机、电视机、移动电话都是采用超外差式的接收方式。

本章小结

本章介绍了无线电广播发射与接收的基本原理和工作过程, 传输的信息是声音。对于传输其他形式的信息, 无线电波的发送与接收的基本原理和工作过程也是相同的。本书后面各章将分别介绍选频电路、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、混频器、振幅调制电路和检波器、角度调制电路和鉴频器与鉴相器, 以及反馈控制电路和频率合成器等内容。

思考题与习题

- 1-1 无线电通信系统由几部分组成? 各部分起什么作用?
- 1-2 基带信号有何特点? 为什么需要载波才能发射?

- 1-3 无线电通信中为什么要调制与解调？它们的作用是什么？
- 1-4 什么是调幅？什么是调频？你接收过调幅和调频广播信号吗？
- 1-5 超外差式接收机有何特点？为什么要混频？如接收的中波广播信号频率为 1500kHz，中频为 465kHz，接收机的本机振荡频率是多少？
- 1-6 某调频广播的信号频率是 103.6MHz，调频广播接收机的中频频率是 10.7 MHz，接收机的本机振荡频率应是多少？
- 1-7 人类在体力、视力、听力等方面都不及某些动物，为何能在地球上取得统治地位？
- 1-8 常见的远距离传送信息的方式有哪些？你经常使用那些远距离传送或接收信息的方式和设备？
- 1-9 高频电子线路主要研究和解决什么问题？

第二章 选频和滤波电路

第一节 概 述

无线电信号有不同波段，它们的频率相差很大，用途也各不相同。例如，调幅广播中波的频率范围为 $526.6 \sim 1606.5\text{kHz}$ ，调幅广播短波的频率范围为 $2 \sim 18\text{MHz}$ ，调频广播的频率范围为 $87 \sim 108\text{MHz}$ 。无线电视广播分为四个波段，I 波段频率范围为 $48.5 \sim 92\text{MHz}$ ，III 波段频率范围为 $165 \sim 223\text{MHz}$ ，IV 波段频率范围为 $470 \sim 566\text{MHz}$ ，V 波段频率范围为 $606 \sim 958\text{MHz}$ ，（注： $92 \sim 165\text{MHz}$ 的频率范围称为 II 波段，该波段没有用于无线电视广播，而是用于其他无线电通信）。移动通信有 900MHz 频段和 1800MHz 频段等。要选择所需要的某一波段或频段的信号来接收，首先就要选频和滤波。

携带有用信息的高频已调波信号的特点是频率高，相对频带宽度较窄。以调幅广播中波为例，其频率范围规定为 $526.6 \sim 1606.5\text{kHz}$ ，频道间隔规定为 9kHz ，信号的相对频带宽度为 $1/58 \sim 1/178$ （此处以频道间隔代替频带宽度计算）。按以上频率范围和频道间隔的规定，在调幅广播中波波段可以设置 110 多个广播电台（为避免邻近电台相邻频率的干扰，某地区实际可接收中波广播数远少于此数）。又如我国无线电视广播分为四个波段，共 68 个频道（为避免邻近电视台相邻频道的干扰，某地区实际可接收无线视频道数少于此数），要从多个高频信号中选取需要接收的信号，选频和滤波电路不可缺少。

LC 谐振回路是最常用的选频网络，它有串联回路和并联回路两种类型。

用 LC 谐振回路的选频特性，可以从输入信号中选出有用频率信号而抑制无用频率信号。例如用在接收机的输入回路和选频放大器中。LC 回路还可进行频幅和频相转换，如用在鉴频器电路。此外 LC 回路还可组成阻抗变换电路用于级间耦合和阻抗匹配。所以 LC 谐振回路是高频电路中不可缺少的组成部分。

传统广播接收机的输入回路，常由电感线圈和可变电容器组成 LC 谐振回路，靠手转动可变电容器改变电容量来选择不同信号频率。为实现自动调谐选台，现已使用变容二极管代替可变电容器来调谐选台，这在电视机的电调谐高频头已广泛使用。

在整机生产中为了减少人工调谐的麻烦，已广泛使用固体滤波技术，陶瓷滤波器、石英晶体滤波器和声表面波滤波器已广泛使用，它们常用做集中滤波器，在集成电路选频放大和信号选取分离上起着重要作用。

第二节 串联谐振回路

一、串联谐振回路的参数和特性

在 LC 谐振回路中, 当信号源与电容和电感及负载串接时, 就组成串联谐振 (series resonance) 回路, 如图 2-1 所示, 其中 R_L 是负载电阻, r 是电感 L 的损耗电阻。

由电路原理知识, 可得出串联谐振回路的主要参数表达式。

1. 回路总阻抗

$$Z = R_L + r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2-1)$$

2. 回路谐振频率

在某一特定频率 ω_0 时, 回路电抗为 0,

回路总阻抗为最小值, 回路电流达到最大值, 回路发生谐振。由回路电抗

$$X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

得谐振角频率

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2-2)$$

由于 $\omega_0 = 2\pi f_0$, 可得谐振频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (2-3)$$

3. 回路空载品质因数 (quality factor)

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-4)$$

回路有载品质因数

$$Q_e = \frac{\omega_0 L}{R_L + r} \quad (2-5)$$

4. 空载回路电流

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_s}{r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (2-6)$$

谐振时空载回路电流

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_s}{r} \quad (2-7)$$

在空载时, 任意频率下的回路电流 $\dot{I}$ 与谐振时回路电流 $\dot{I}_0$ 之比

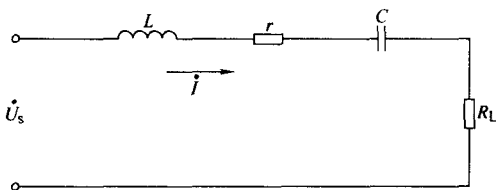


图 2-1 LC 串联谐振回路