

高等院校教材

通信电子线路

严国萍 龙占超 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

高等院校教材

通信电子线路

严国萍 龙占超 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书覆盖了“电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会”2004年版关于电子线路II基本要求的全部内容。书中详细介绍了通信系统中电路的基本原理、分析方法和典型应用。按照线性电路、非线性电路以及频率变换电路来组织教材内容。

全书共分12章,包括通信系统导论、通信电子线路分析基础、高频小信号放大器、谐振功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调及混频电路、角度调制与解调电路、数字调制系统、软件无线电中的调制与解调算法、反馈控制电路、频率合成技术、通信系统组成与分析等内容。每章都对主要知识点进行了小结,内容深入浅出,理论联系实际。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业的本科生教材或教学参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/严国萍,龙占超编著. —北京:科学出版社,2005
(高等院校教材)
ISBN 7-03-015615-3

I. 通… II. ①严… ②龙… 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(2005)第 053617 号

责任编辑:马长芳 资丽芳 于宏丽/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张:26 3/4

印数:1—4 000 字数:524 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

本书是华中科技大学“新世纪教学改革工程”立项教材,其主要内容覆盖了“电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”2004年版关于电子线路 II (高频电子线路)基本要求的全部内容。书中介绍了通信系统中电路的基本原理、分析方法和典型应用。主要以模拟通信的电子电路为主,按照线性电路、非线性电路以及频率变换电路来组织教材内容,结合作者多年的教学实践体会和科研经历,从通信系统和整机出发来分析各功能模块的原理、组成和作用。教材在介绍通信电子线路分析的基本知识、串并联谐振回路及非线性电路分析方法的基础上,分别介绍了高频小信号谐振放大器、谐振功率放大器、正弦波振荡器及通信系统收发设备中的各种频率变换电路。线性频率变换电路含混频、振幅调制与解调,非线性频率变换电路含角度调制与解调,将数字调制解调另辟一章作了较详细的分析。随着现代科技迅速发展,为了使学能接触到与本课程相关的最新知识,教材中还介绍了软件无线电的基本知识和用 DSP 实现的调制解调算法。

在反馈控制电路中,首先使学生建立反馈控制系统的整体概念,再分别介绍 AGC、AFC 和锁相环 PLL 电路。由于电子设备对振荡信号源的要求不断提高,因此本书还另辟一章介绍了既能满足较高频率稳定度,又能方便地转换频率的频率合成器,着重讲述了频率合成器的特点,指标和各种频率合成器的电路分析。

教材在介绍了无线电发送和接收设备组成的基础上,从实际通信系统出发,分析了通信系统中的噪声与干扰,无线通信发射机和接收机的主要技术指标、测量方法以及实际电路。为使学能更好地掌握相关知识,教材中每章都对主要知识点进行了小结,对难于理解的地方采取例题进一步讲解分析。

本书由严国萍主编。绪论、第 1~7、12 章及附录由严国萍编写,第 8,10,11 章由龙占超编写,第 9 章由张琼编写,全书由严国萍统稿。作者是在前辈张肃文教授的启蒙下开始学习高频电子线路课程,并直接受到张先生的谆谆教诲,本书也是作者多年学习和讲授张先生的“高频电子线路”教材的心得体会,在此谨向恩师表示诚挚的谢意。华中科技大学通信电子线路课程组在教学中对本书初稿进行了试用,孙中葛、游超、贺峰、胡东等也参加了本书的组编工作,在此一并表示感谢。由于时间仓促及作者水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请广大读者批评指正

作 者

2005 年 5 月于华中科技大学

目 录

前言

第 1 章 通信系统导论	1
1.1 通信系统的组成	1
1.1.1 通信系统组成框图	1
1.1.2 无线电发送设备的工作过程和基本原理	2
1.1.3 无线电接收设备的工作过程和基本原理	4
1.2 通信系统中信号的频谱表示法	6
1.3 无线通信系统中的信道	8
1.3.1 无线电波段的划分	8
1.3.2 无线电波的传播方式	9
1.4 数字通信系统	10
1.5 现代通信系统	11
本章小结	13
思考题与习题	13
第 2 章 通信电子线路分析基础	14
2.1 选频网络	14
2.1.1 串联谐振回路	14
2.1.2 并联谐振回路	18
2.1.3 串、并联阻抗等效互换与回路抽头时的阻抗变换	24
2.1.4 耦合回路	29
2.1.5 选择性滤波器	35
2.2 非线性电路分析基础	44
2.2.1 非线性电路的基本概念与非线性元件	44
2.2.2 非线性电路的分析方法	47
2.2.3 非线性电路的应用	52
2.2.4 模拟相乘器及其频率变换作用	53
2.2.5 二极管平衡相乘器	59
本章小结	61
思考题与习题	63
第 3 章 高频小信号放大器	68
3.1 概述	68
3.2 晶体管高频小信号等效电路与参数	70

3.2.1	形式等效电路(Y 参数等效电路)	70
3.2.2	物理模拟等效电路(混合 π 型等效电路)	71
3.2.3	Y 参数等效电路与混合 π 等效电路参数的转换	73
3.3	晶体管谐振放大器	73
3.3.1	单级单调谐回路谐振放大器	73
3.3.2	多级单调谐回路谐振放大器	79
3.4	谐振放大器的稳定性	80
3.4.1	自激产生的原因	81
3.4.2	放大器产生自激的条件	81
3.4.3	谐振电压增益 A_{V0} 与稳定系数 S 的关系	81
3.4.4	克服自激的方法	82
3.5	非调谐式放大器与集成电路放大器	85
3.5.1	非调谐回路式放大器	85
3.5.2	集成电路谐振放大器	86
	本章小结	88
	思考题与习题	89
第 4 章	谐振功率放大器	92
4.1	概述	92
4.2	谐振功率放大器的工作原理	93
4.2.1	谐振功率放大器的原理及电压、电流波形	93
4.2.2	谐振功率放大器的功率关系和放大器的效率	95
4.3	晶体管谐振功率放大器的折线近似分析法	96
4.3.1	折线法	96
4.3.2	晶体管特性曲线的理想化及其解析式	97
4.3.3	集电极余弦电流脉冲的分解	98
4.3.4	谐振功率放大器的动态特性与负载特性	100
4.3.5	放大器工作状态及导通角的调整	104
4.3.6	谐振功率放大器的计算	106
4.4	谐振功率放大器电路	108
4.4.1	直流馈电电路	108
4.4.2	输出回路和级间耦合回路	110
4.5	谐振功率放大器实例	113
4.6	晶体管倍频器	114
4.6.1	概述	114
4.6.2	晶体管丙类倍频电路与工作原理	115
4.6.3	负载回路的滤波作用	116
	本章小结	117
	思考题与习题	117

第 5 章 正弦波振荡器	119
5.1 概述	119
5.2 反馈型振荡器的基本工作原理	119
5.2.1 自激振荡建立的物理过程和电路基本构件	119
5.2.2 振荡器的起振条件	120
5.2.3 振荡器的平衡条件	121
5.2.4 振荡器平衡状态的稳定条件	123
5.3 反馈型 LC 振荡器线路	126
5.3.1 互感耦合振荡器	126
5.3.2 三端式 LC 振荡器	127
5.4 振荡器的频率稳定问题	135
5.4.1 频率稳定度定义	135
5.4.2 影响频率稳定度的因素	136
5.4.3 振荡器稳定频率的方法	137
5.5 石英晶体振荡器	138
5.5.1 石英晶体及其特性	138
5.5.2 晶体振荡器电路	140
5.6 其他形式的振荡器	144
5.6.1 压控振荡器(VCO)	144
5.6.2 集成电路振荡器	146
5.7 RC 正弦波振荡器	147
5.7.1 RC 选频网络	147
5.7.2 文氏电桥振荡电路	148
5.7.3 RC 相移振荡器	149
本章小结	150
思考题与习题	151
第 6 章 调幅、检波与混频——频谱搬移电路	156
6.1 频谱搬移电路的特性	156
6.2 振幅调制原理	157
6.2.1 概述	157
6.2.2 调幅波的性质	157
6.2.3 抑制载波的双边带调幅波与单边带调幅波	162
6.3 振幅调制方法与电路	164
6.3.1 概述	164
6.3.2 低电平调幅电路	164
6.3.3 高电平调幅电路	177
6.4 振幅解调(检波)原理与电路	180
6.4.1 概述	180

6.4.2	二极管峰值包络检波器	181
6.4.3	同步检波器	188
6.5	混频器原理及电路	195
6.5.1	概述	195
6.5.2	晶体三极管混频器	197
6.5.3	场效应管混频器	205
6.5.4	晶体二极管混频器	206
6.5.5	模拟相乘器混频电路	207
6.5.6	混频器的干扰	210
本章小结		216
思考题与习题		216
第7章	角度调制与解调——频谱非线性变换电路	220
7.1	概述	220
7.2	调角波的性质	220
7.2.1	调频波和调相波的波形和数学表达式	220
7.2.2	调角信号的频谱与有效频带宽度	225
7.2.3	调频波与调相波的联系与区别	227
7.3	调频方法及电路	228
7.3.1	实现调频的方法和基本原理	228
7.3.2	变容二极管直接调频电路	229
7.3.3	晶体振荡器直接调频	233
7.3.4	间接调频方法(由 PM $\rightarrow$ FM)	234
7.4	调角信号解调	237
7.4.1	鉴频方法概述和鉴频器的主要技术指标	237
7.4.2	相位鉴频	240
7.4.3	比例鉴频器	243
7.5	调频制的抗干扰(噪声)性能	244
本章小结		247
思考题与习题		247
第8章	数字调制系统	250
8.1	概述	250
8.1.1	数字通信	250
8.1.2	数字无线电的组成	251
8.2	数字调制	252
8.3	二进制数字调制	253
8.3.1	二进制幅度键控(BASK)	253
8.3.2	二进制频移键控(BFSK)	254
8.3.3	二进制相移键控(BPSK)	259

8.4 多进制数字调制	265
8.4.1 M 元编码	265
8.4.2 四相相移键控	266
8.4.3 8 相 PSK	272
8.4.4 正交幅度调制	278
8.5 带宽效率	285
8.6 载波恢复	286
8.6.1 平方环	286
8.6.2 边环	287
8.6.3 再调制	287
8.7 差分相移键控	288
8.7.1 DBPSK 发送器	288
8.7.2 DBPSK 接收器	289
8.8 时钟恢复	289
8.9 错误概率和误比特率	290
8.9.1 PSK 误码性能	293
8.9.2 QAM 误码性能	294
8.9.3 FSK 误码性能	297
8.10 格状编码	298
本章小结	301
思考题与习题	302
第 9 章 软件无线电中的调制与解调算法	305
9.1 软件无线电简介	305
9.1.1 软件无线电概念的由来	305
9.1.2 软件无线电的关键技术	306
9.1.3 软件无线电的基本结构	308
9.2 软件无线电中信号的调制与解调算法	310
9.2.1 调幅波调制与解调原理及算法描述	310
9.2.2 双边带信号调制解调原理及算法描述	311
9.2.3 单边带信号调制解调原理及算法描述	312
9.2.4 调频波调制与解调原理及算法描述	314
9.3 应用程序举例	317
9.3.1 调幅波(AM)的 DSP 实现	317
9.3.2 调频波(FM)的 DSP 实现	317
本章小结	319
思考题与习题	319
第 10 章 反馈控制电路	320
10.1 概述	320

10.2	自动电平控制电路	321
10.2.1	基本工作原理	321
10.2.2	自动电平控制电路的应用	321
10.3	自动频率控制电路	323
10.3.1	基本工作原理	323
10.3.2	自动频率控制电路的应用	326
10.4	锁相环路的基本工作原理	328
10.5	锁相环路的性能分析	329
10.5.1	锁相环路各部件及其数学模型	329
10.5.2	捕捉过程	333
10.5.3	跟踪特性	336
10.6	集成锁相环	340
10.6.1	LS62 集成锁相环	341
10.6.2	CC4046 单片锁相环	343
10.7	锁相环路的应用	344
10.7.1	锁相环路的调频与鉴频	344
10.7.2	调幅信号的解调	346
10.7.3	锁相接收机	347
	本章小结	348
	思考题与习题	349
第 11 章	频率合成技术	352
11.1	频率合成器的主要技术指标	352
11.1.1	频率合成方法	352
11.1.2	频率合成器的主要性能指标	352
11.2	频率直接合成法	354
11.2.1	非相干式直接合成器	354
11.2.2	相干式直接合成器	355
11.2.3	频率漂移抵消法(外差补偿法)	356
11.3	频率间接合成法(锁相环路法)	357
11.3.1	脉冲控制锁相法	358
11.3.2	模拟锁相环路法(间接合成制减法降频)	358
11.3.3	数字锁相环路法(间接合成制除法降频)	361
11.4	集成频率合成器	366
	本章小结	368
	思考题与习题	368
第 12 章	通信系统组成与分析	370
12.1	通信系统中的噪声与干扰	370
12.1.1	概述	370

12.1.2	内部噪声的来源和特点	371
12.1.3	线性系统低噪声设计的考虑	377
12.1.4	噪声系数的测量	379
12.1.5	工业干扰与天电干扰	381
12.2	无线通信发射机分析	383
12.2.1	发射机指标与测量	383
12.2.2	调幅发射机	384
12.2.3	调频发射机	387
12.3	无线通信接收机分析	396
12.3.1	接收机的主要技术指标	396
12.3.2	接收机的性能指标举例	399
12.3.3	锁相接收机	401
12.3.4	单片调幅/调频收音机	402
12.3.5	接收机整机参数的测量	408
	本章小结	410
	思考题与习题	410
	参考文献	412
	附录 1 放大器稳定系数 S 表达式的推导	413
	附录 2 余弦脉冲分解系数表	415

第 1 章 通信系统导论

现代通信的主要任务就是迅速而准确地传输信息。随着通信技术的日益发展,组成通信系统的电子电路不断更新,其应用十分广泛。实现通信的方式和手段很多,本书中讨论的通信电子电路主要用于利用电磁波传递信息的无线通信系统。

1.1 通信系统的组成

1.1.1 通信系统组成框图

传输信息的系统,统称为通信系统。信息可以是语音、文字、符号、图像或数据等。例如,广播是传输声音的系统,电视是传输图像信息与声音信息的系统,它们都是通信系统。一个完整的通信系统应包括:输入变换装置、发送设备、传输信道、接收设备和输出变换装置五部分,如图 1-1 所示。

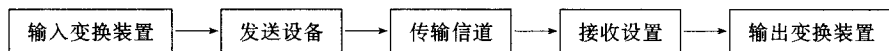


图 1-1 通信系统组成框图

输入变换装置(信源) 将要传送的信息变成电信号的装置,如话筒、摄像机、各种传感装置。

发送设备 将基带信号变换成适于信道传输特性的信号。不同的信道具有不同的传输特性,而由于要传送的消息种类很多,它们相应基带信号的特性各异,往往不适于直接在信道中传输。因此,需要利用发送设备对基带信号进行变换,以得到适于信道传输的信号。

传输信道 传输信道是传送信息的通道,又称传输媒介,如电缆、光缆或无线电波。不同的信道有不同的传输特性。

接收设备 接收设备是将信道传送过来的信号进行处理,以恢复出与发送端基带信号相一致的信号。当然,由于在信道传输中和恢复过程中会产生一定的干扰和失真,因此,接收设备恢复的信号也会有一定的失真,应尽量减小这种失真。

输出变换装置(信宿) 将接收设备输出的电信号变换成原来形式的消息的装置,如还原声音的喇叭,恢复图像的显像管等。

在本教材中主要研究模拟通信系统中发送设备和接收设备的工作原理和组成,着重讨论构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型线路和分析方法。在具体介绍这些单元电路之前,先扼要介绍无线电信号的发送和接收过程,以

及收、发设备的组成,使大家对无线通信系统有一较全面的认识,了解各部分之间的有机联系。

1.1.2 无线电发送设备的工作过程和基本原理

1. 无线电是怎样把声音或图像信号传送出去

我们知道,人耳能听到的声音的频率约在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 的范围内,通常把这一

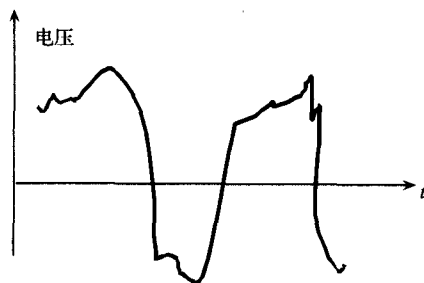


图 1-2 声音信号的波形

频率范围叫作音频。声波在空气中传播的速度很慢,约 340m/s ,而且衰减很快。一个人无论怎样尽力高喊,他的声音也不会传得很远。为了把声音传送到远方,常用的方法是通过压电效应把声音变成电信号再将电信号进行处理后播送出去。将声音变为电信号的任務一般由话筒(也叫微音器)来承担。当对着话筒说话时,话筒就输出相应的电压,这个变化规律与声音的变化规律相同,如图 1-2 所示。

从话筒得到的电信号的强度一般都很小,通常只有几毫伏至零点几伏,需要用音频放大器加以放大。经过放大后的音频信号可以利用导线传送出去,再经过喇叭恢复出原来的声音。这就是通常的有线广播。怎样才能不用导线将声音的信号由天空传播出去呢?我们知道,交变的电振荡可以利用天线向空中辐射出去。但是天线的尺寸必须足够长,这种无线电辐射才有效。具体地说,天线长度必须和电振荡的波长可以比拟,才能有效地把电振荡辐射出去。前面讲过,声音信号的频率为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,即其波长范围是 $15\times 10^3\sim 15\times 10^6\text{m}$,要制造出与此尺寸相当的天线显然是很困难的。因此直接将音频信号辐射到空中去很不容易,而且即使辐射出去,各个电台所发出的信号频率都在 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,它们在空中混在一起,收听者也无法选择所要接收的信号。因此,要想不用导线传播声音信号,就必须利用频率更高(即波长较短)的电振荡,并设法把音频信号“装载”在这种高频振荡之中,然后由天线辐射出去。这样,天线尺寸可以比较小,不同的广播电台也可以采用不同的高频振荡频率,使彼此互不干扰。例如,中央台新闻联播可用 640kHz 的电振荡发送,而湖北台的汉剧可用 870kHz 的电振荡发送,这样就互不产生干扰了。

为了有效地进行发射与接收,发射和接收天线的长度都应根据不同的波长来选取,我们可以看到 8 频道的电视天线短,2 频道的电视天线长,就是这个道理。

通过上面分析,我们知道了无线电是怎样把声音或图像传播出去的。这就是首先把声音变成电信号,然后把这种低频电信号装载到高频电振荡上,通过与高频电振荡波长相当的天线把信号有效地辐射出去。

下面具体分析发送设备的组成。

2. 广播发射机的组成

广播发射机的方框图如图 1-3 所示。

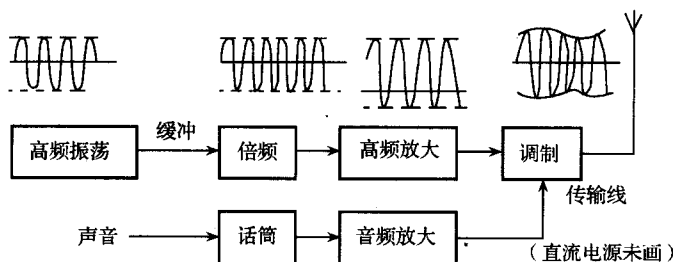


图 1-3 广播发射机的方框图

图 1-3 中高频振荡器的作用是产生高频电振荡信号,这种高频电波是用来运载声音信号的,我们就把它叫作载波。它的频率称为载频。它的作用就像公共汽车一样,是运载工具。公共汽车运载乘客,而载波是运载信息。一般我们收听广播所说的频率就是指的这个频率。例如,湖北台 870kHz,中央台 640kHz,都是针对载波频率而言。

倍频器的作用是提高高频振荡频率,高频振荡器所产生的电振荡的频率不一定恰好等于所需要的载波频率,一般低于载波频率若干分之一,这主要是为了保证振荡器的频率稳定度,所以需要用电倍频器把载波频率提高到所需要的数值。

高频放大器的作用即把振荡器产生的高频振荡放大到一定的强度。

调制的作用与方法:前面我们已经讲到载波是运载工具,它的作用是运载信息,那么调制就是把图像或声音信息装载到载波上的过程。

我们知道,一个高频正弦振荡可以表示为

$$v_0(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

它的波形如图 1-4(a)。

$v_0(t)$ 是高频正弦振荡的瞬时值, V_0 是它的振幅, ω_0 是角频率, φ_0 是初始相角。为了简单起见,这里假定音频信号也是一个单音余弦波,它的表示式是

$$v_\Omega(t) = V_\Omega \cos \Omega t$$

其波形如图 1-4(b)。

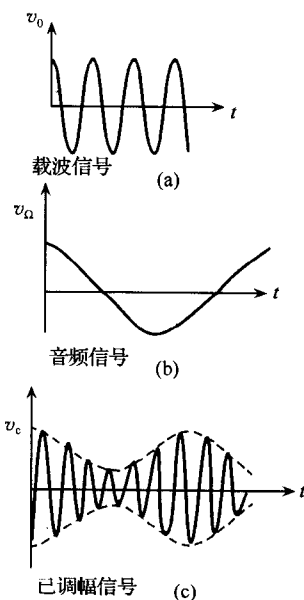


图 1-4 调幅波形

这里 v_n 是音频信号的振幅, Ω 是音频角频率, 设 $\varphi_n = 0$ 。

将音频信号“装载”到高频振荡中的方法有好几种, 如调频、调幅、调相等。电视中图像是调幅, 伴音是调频。广播电台常用的方法是调幅与调频。图 1-4 (c) 是一个单音余弦波对载波调幅的波形图。

调制后高频振荡的振幅可以写成 $V_0(1 + m_a \cos \Omega t)$, 相应的高频电振荡叫作“调幅波”, 它的表示式为

$$v(t) = V_0(1 + m_a \cos \Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

m_a 是一个小于 1 的常数, 叫作“调幅系数”, 它应该和音频信号的 V_n 成正比, 调幅信号才没有失真。

把声音信号对高频载波进行调幅以后, 利用实际上可以做得到的, 尺寸较小的天线, 就可以把它从空中辐射出去, 传送给远方的听众。这就是无线电广播发射信号的基本过程。至于振荡器, 调幅器的工作原理和具体线路, 在以下各章详细分析。

1.1.3 无线电接收设备的工作过程和基本原理

下面我们来讨论无线电接收机的工作原理, 最简单的接收机可以用图 1-5 的方框图来表示。

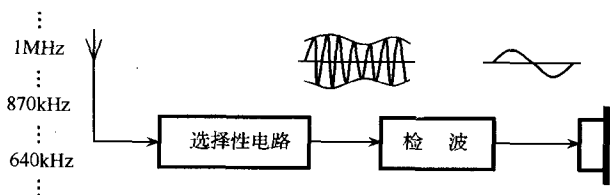


图 1-5 最简单的接收机

1. 最简单的接收机

接收机的工作过程是发射机的逆过程, 它的基本任务是将空中传来的带有信息的电磁波接收下来, 并把它复原为原来的信号。

接收从空中传来的电磁波的任务是由接收天线来完成的。这里必须注意的是, 由于广播电台很多, 在同一时间内, 接收天线所收到的将不仅是我们希望收听的电台的信号, 而且包含若干个来自不同电台的, 具有不同载频的无线电信号, 前面我们已经讲过, 这些广播电台之所以采用各种不同的载频, 其目的就是让听众按照电台频率的不同, 设法选择出所需要的节目。因此在接收天线之后, 应该有一个选择性电路。它的作用就是把所要接收的无线电信号挑选出来, 并把不要的信号滤掉, 以免产生干扰。

选择性电路是由振荡线圈 L 和电容器 C 组成的。

这种 LC 电路通常叫作谐振回路, 收听广播时, 我们调节接收机里的可变电容

器,其作用就是使振荡回路调谐到我们要收听的电台的频率。 LC 谐振回路我们将在第 2 章中详细讨论。

选择性电路的输出就是某个电台的高频调幅波。利用它直接去推动耳机(收音装置)是不成的,因为频率太高,耳机薄膜振动跟不上,所以还必须先把它恢复成原来的音频信号。这种从高频调幅波中检取出音频信号的过程叫作检波(也称为振幅解调),用来完成解调的部件叫作检波器或解调器。把检波器获得的音频信号送到耳机,就可以收听到所需要的广播节目。

2. 直接放大式接收机

上面所讲的只是接收机的最基本的工作过程。这种最简单的接收机叫作直接检波式接收机。实际上的接收机比较复杂,这是因为:

第一,从接收天线得到的高频无线电信号通常非常微弱,一般只有几十微伏至几毫伏,直接把它送到检波器进行检波不太合适,最好在选择性电路和检波器之间插入一个高频放大器,把高频调幅信号加以放大。通常,送到检波器的高频调幅信号的电压约需几百毫伏,因此高频放大器的电压放大倍数大约需要有几百倍至几万倍。

第二,即使接收机已经增加了高频放大器,检波器输出的音频信号通常也只有几百毫伏,用耳机收听是足够了,推动功率大一点的扬声器就嫌太小。所以接收机大都需要有音频放大器,把检波器的输出信号加以放大,再推动扬声器。这种带有高频放大器的接收机叫作高放式接收机,它的灵敏度较高,输出功率也较大。但也有不少缺点,主要是选择性不好,调谐也比较复杂。这是因为要把天线来的高频信号放大到几百毫伏,一般需要用几级高频放大器,而每一级高频放大器大都需要一个由 LC 组成的谐振回路,当被接收信号的频率改变时,整个接收机的所有 LC 谐振回路都需要重新调谐,很不方便。为了克服这种缺点,现在的接收机几乎都采用超外差式的线路。

3. 超外差式接收机

超外差式接收机的方框图如图 1-6。

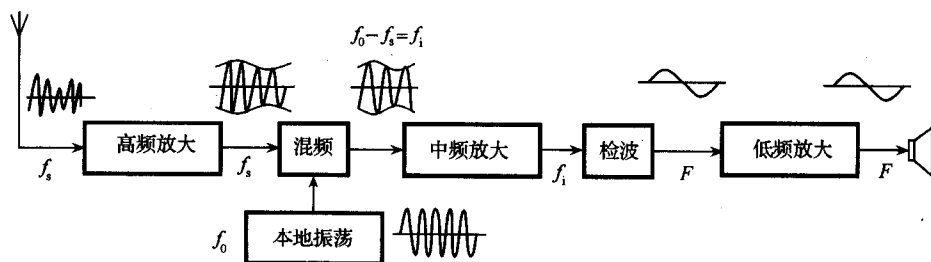


图 1-6 超外差收音机方框图

超外差接收机的主要特点:把被接收的高频已调信号的载波频率 f_c 先变为频率较低的而且是固定不变的中频 f_i ,再利用中频放大器加以放大,然后进行检波。由于中频是固定的,因此中频放大器的选择性与增益都与接收的载波频率无关。

把高频信号的载波频率变为中频的任务是由混频器来完成的。在以后介绍混频器时,我们将证明:把一个载频 f_c 的调幅波和一个频率为 f_o 的正弦波同时加到混频器上,经过变频以后所得到的仍是一个调幅波,不过它的“载波”频率已经不是原来的载频 f_c ,而是这两个频率之差($f_o - f_c$),或取两个频率之和($f_o + f_c$)。

从上面的讨论可以看出,在超外差接收机中为了产生变频作用,还需要有一个外加的正弦信号。这个信号通常叫作外差信号,产生外差信号的部件叫作外差振荡器,也叫本地振荡器。外差信号的频率应该随时和被接收信号频率相差一个固定频率,该频率称为中频。经变频后得到的中频信号经中频放大器放大。由于变频后的“载波”频率是固定的,所以中频放大器的谐振回路不需要随时调整,不管信号频率怎么变,中频总是不变的,选择性容易做好,这也是超外差接收机的优点。

前面我们扼要地介绍了无线电广播电台发送信号和接收信号的基本原理。虽然讲的只是语音广播的特殊情况,但它是有典型的意义。根据这种原理也可以传送任何其他的信号,例如,雷达信号、电报报文、电视图像和测量数据等。所以这两节所介绍的收发信机的基本原理和方框图,对于其他的通信系统来说,基本上也是适用的。

1.2 通信系统中信号的频谱表示法

由于在通信系统实际应用中的信号千变万化,为了便于分析,常采用数学表达式、波形及频谱的方式来描述信号。

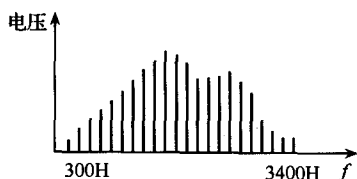


图 1-7 话音信号的频谱图

对于波形,数学表达式一般适于表达较简单的信号,而对于大量实际信号由于规律复杂或无规律,写表达式和画波形都很麻烦,因此,在表示信号频率变换的过程中,为了突出主要矛盾常采用信号频谱表示法。由于任何复杂的信号,都可分解为许多不同频率的正弦信号之

和,因此,所谓“频谱”即是指组成信号的各正弦分量按频率分布的情况。为了更直观地了解信号的频率组成和特点,我们通常采用作图的方法来表示频谱。用频率 f 作横坐标,用信号的各正弦分量的相对振幅作纵坐标,通常称之为频谱图。例如,声音信号变化规律比较复杂,不容易写出数学表达式。但是用频谱图的方法来分析它,就不难抓住其特点,清楚地表述它。图 1-7 所示为一般话音信号的频谱图,它的频率范围大约在一二百赫兹到几千赫兹之间(通常定为 300~3400Hz),其能量主要集中在 1000Hz 附近。