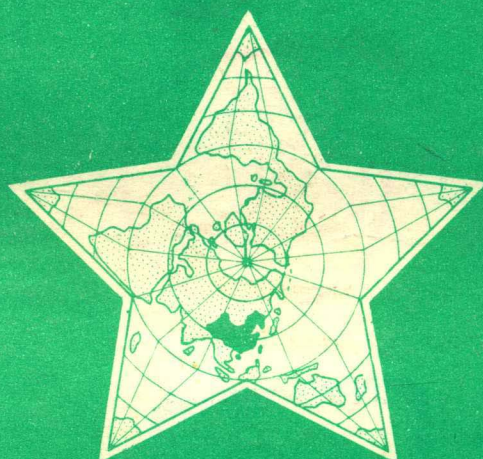


无线电技术



中国人民解放军测绘学院

一九八七年二月

无线电技术

中国人民解放军测绘学院

一九八七年二月

目 录

第一章 无线电通信的基本概念	(5)
§ 1—1 概 述	(5)
§ 1—2 无线电通信系统	(6)
§ 1—3 信号及频谱	(10)
习题与思考题	(15)
第二章 无线电波传播	(17)
§ 2—1 无线电波传播的基本概念	(17)
§ 2—2 地面波传播	(21)
§ 2—3 天波传播	(22)
§ 2—4 视距传播	(25)
习题与思考题	(27)
第三章 传输线与天线	(28)
§ 3—1 高频传输线概述	(28)
§ 3—2 无耗平行双导线传输线的特性	(33)
§ 3—3 行波工作状态	(38)
§ 3—4 驻波工作状态	(40)
§ 3—5 行驻波工作状态	(48)
§ 3—6 天线概述	(51)
§ 3—7 天线的主要性能与指标	(53)
§ 3—8 几种典型天线介绍	(56)
习题与思考题	(63)
第四章 无线电发射设备原理	(66)
§ 4—1 概述	(66)
§ 4—2 非线性电路的分析方法	(67)
§ 4—3 高频功率放大器与倍频器	(74)
§ 4—4 振荡器	(79)
§ 4—4—1 LC 正弦波自激振荡器	(79)
§ 4—4—2 石英晶体振荡器	(86)
§ 4—4—3 反射速调管振荡器	(91)
§ 4—4—4 体效应二极管振荡器	(97)
§ 4—5 调制	(104)
§ 4—5—1 振幅调制	(104)
§ 4—5—2 角度调制	(115)
§ 4—6 发射机电路举例	(126)
习题与思考题	(128)

第五章 无线电接收设备原理	(130)
§ 5—1 概述	(130)
§ 5—2 高频小信号谐振放大器	(135)
§ 5—2—1 串并联谐振回路	(135)
§ 5—2—2 谐振放大器	(142)
§ 5—3 变频器	(146)
§ 5—4 检波器	(156)
§ 5—5 接收机电路举例	(163)
习题与思考题	(172)
第六章 调频信号的接收与解调	(175)
§ 6—1 概述	(175)
§ 6—2 限幅器	(179)
§ 6—3 斜率鉴频器	(183)
§ 6—4 相位鉴频器	(187)
§ 6—5 比例鉴频器	(190)
§ 6—6 符合门鉴频器	(192)
§ 6—7 调频接收机电路举例	(197)
习题与思考题	(197)
第七章 反馈控制电路与频率合成技术	(198)
§ 7—1 自动增益控制电路	(198)
§ 7—2 自动频率微调	(201)
§ 7—3 电子调谐	(204)
§ 7—4 锁相环路	(206)
§ 7—5 频率合成技术简介	(214)
习题与思考题	(216)
附录一 高频小信号谐振放大器的分析方法	(218)
附录二 我国电视频道的划分表	(224)
附录三 集成电路与接收机电路	(226)

前 言

本书是根据有关专业无线电技术本科教学大纲和几年来的教学实践而编写的。在编写时参考了相应电类专业的教材，并收集了一些新技术领域的有关内容，将原来的无线电发射与接收改为无线电技术。在编写时既考虑了本课程的特点，同时又保持了本学科的系统性。

本书的主要内容分为七章：第一章无线电通信的基本概念；第二章无线电波传播；第三章传输线与天线；第四章无线电发射设备原理；第五章无线电接收设备原理；第六章调频信号的接收与解调；第七章反馈控制电路与频率合成技术。在选取各章节的内容时，既考虑了前后的连贯性，前面章节为后面章节打基础，同时又考虑了各章节的相对独立性。因此也可以选用部分章节讲授。

由于本书涉及的内容多，而篇幅又有限，因此力争做到内容精简，尽量采用较新技术，同时又考虑了理论联系实际。

本书在编写过程中得到了测距教研室同志的热情支持，并提出了许多宝贵意见，在此向他们表示感谢！

本书经孙志贤，孙怀壮和汪遇明同志审阅，在此向他们表示谢意。

由于本人水平有限，缺点和错误之处，希望读者批评指正。

许天生

一九八七年二月

目 录

第一章 无线电通信的基本概念	(5)
§ 1—1 概 述	(5)
§ 1—2 无线电通信系统	(6)
§ 1—3 信号及频谱	(10)
习题与思考题	(15)
第二章 无线电波传播	(17)
§ 2—1 无线电波传播的基本概念	(17)
§ 2—2 地面波传播	(21)
§ 2—3 天波传播	(22)
§ 2—4 视距传播	(25)
习题与思考题	(27)
第三章 传输线与天线	(28)
§ 3—1 高频传输线概述	(28)
§ 3—2 无耗平行双导线传输线的特性	(33)
§ 3—3 行波工作状态	(38)
§ 3—4 驻波工作状态	(40)
§ 3—5 行驻波工作状态	(48)
§ 3—6 天线概述	(51)
§ 3—7 天线的主要性能与指标	(53)
§ 3—8 几种典型天线介绍	(56)
习题与思考题	(63)
第四章 无线电发射设备原理	(66)
§ 4—1 概述	(66)
§ 4—2 非线性电路的分析方法	(67)
§ 4—3 高频功率放大器与倍频器	(74)
§ 4—4 振荡器	(79)
§ 4—4—1 LC 正弦波自激振荡器	(79)
§ 4—4—2 石英晶体振荡器	(86)
§ 4—4—3 反射速调管振荡器	(91)
§ 4—4—4 体效应二极管振荡器	(97)
§ 4—5 调制	(104)
§ 4—5—1 振幅调制	(104)
§ 4—5—2 角度调制	(115)
§ 4—6 发射机电路举例	(126)
习题与思考题	(128)

第五章 无线电接收设备原理	(130)
§ 5—1 概述	(130)
§ 5—2 高频小信号谐振放大器	(135)
§ 5—2—1 串并联谐振回路	(135)
§ 5—2—2 谐振放大器	(142)
§ 5—3 变频器	(146)
§ 5—4 检波器	(156)
§ 5—5 接收机电路举例	(163)
习题与思考题	(172)
第六章 调频信号的接收与解调	(175)
§ 6—1 概述	(175)
§ 6—2 限幅器	(179)
§ 6—3 斜率鉴频器	(183)
§ 6—4 相位鉴频器	(187)
§ 6—5 比例鉴频器	(190)
§ 6—6 符合门鉴频器	(192)
§ 6—7 调频接收机电路举例	(197)
习题与思考题	(197)
第七章 反馈控制电路与频率合成技术	(198)
§ 7—1 自动增益控制电路	(198)
§ 7—2 自动频率微调	(201)
§ 7—3 电子调谐	(204)
§ 7—4 锁相环路	(206)
§ 7—5 频率合成技术简介	(214)
习题与思考题	(216)
附录一 高频小信号谐振放大器的分析方法	(218)
附录二 我国电视频道的划分表	(224)
附录三 集成电路与接收机电路	(226)

第一章 无线电通信的基本概念

§ 1—1 概 述

无线电技术的产生与发展是建立在电磁学的理论与实践基础之上的。1873年英国科学家麦克斯韦在总结了前人的研究成果的基础上进行了创造性的理论研究，得出了电磁场方程，从理论上证明了电磁波的存在，并指出电磁波在自由空间的传播速度及其折射和反射等特性与光波相同。麦克斯韦的这一发现为无线电通信的发明和发展奠定了理论基础。

1887年德国科学家赫兹通过实验证明了电磁波的客观存在，使麦克斯韦的理论得到了证实。此后，许多国家的科学家都努力研究如何利用电磁波传递信息，即无线电通信。

1895年意大利人马可尼和俄国人波波夫各自独立地在本国内分别在几百米的距离上，用电磁波进行通信获得成功。1901年马可尼首次完成了横渡大西洋的无线电通信。从此，无线电通信开始进入了实用阶段。

首先得到实用的是无线电报通信，以后又实现了无线电话、传真和电视等通信方式。使无线电通信成为人们的“顺风耳”和“千里眼”。

随着电子器件从最早电子管到半导体管、集成电路及其它新型器件的不断出现，促使无线电通信设备的种类、性能和无线电技术也有革命性的发展。至今已经能够利用同步卫星（1963年首次发射成功）实现全球范围内的实时通信；利用光导纤维（1970年首次制成）实现了用光波传递信息，从而迈进了光通信的时代。

我们知道，无线电通信的主要任务是传输信息。它是以无线电设备为手段，利用无线电波在空间的传播来传递消息的。无线电技术最早应用在通信方面。随着科学技术的不断发展，无线电技术领域迅速扩大。现在所说的无线电通信，已大大超过了一般通信的领域，而扩展为各种性质的信息传递，并且已经成为科学技术、国防、交通和工农业生产的重要工具。

例如，在测绘上利用卫星定位。即卫星将自己的轨道数据等信息利用无线电波传到地面接收点，该点对收到的信息进行处理，从而确定地面点的经、纬度位置。美国导航卫星全球定位系统——GPS 实时定位技术就是利用已知18颗卫星的轨道数据，接收机测得它们的伪距等信息送到处理机，处理机根据测得的伪距值和外输入的卫星钟时间和轨道参数计算出自己所处的点位坐标。又如微波测距仪，则是利用无线电波的传播来获得距离信息的。因为电磁波在空间的传播速度是已知的，由于距离不同，因而产生的相位差不同，根据这个相位差就可以推算出所要测量的距离。

无线电通信的主要特点是利用无线电波在空间的传播来传递信息的。因为无线电波在空间传播的速度近似等于光速，即每秒30万公里。所以我们只要把需要传递的信息“寄载”在无线电波中，利用无线电波的传播就可实现实时的信息传递。

现在势必会提出一系列的问题：无线电波是怎样产生的？信息是如何寄载到无线电波中的？无线电波又是如何发射和传播的？而在接收端又如何从无线电波中把寄载的信息恢复出来？通过对本教材的学习即可较系统地回答上述一系列的问题。

为使大家对无线电通信系统有一个完整的概念；对通信系统中的有关名词、术语有一初步的了解，以利于后面各章的学习，下面将分别介绍无线电通信系统的组成及作用，有关名词、术语及信号与频谱等概念。

§ 1—2 无线电通信系统

传输信息的系统 统称为通信系统。一个完整的通信系统应包括信号源、发射设备、传输信道、接收设备和收信装置等组成部分。方框图如图 1—1 所示。对于无线电通信系统而言，传输信道就是传输无线电波的自由空间。

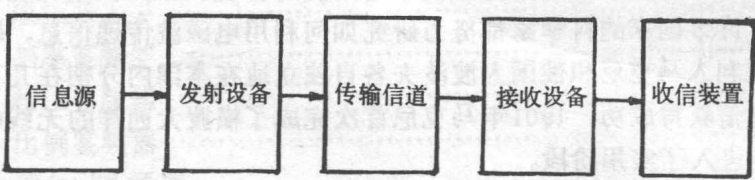


图 1—1 通信系统方框图

下面我们以无线电广播发射机的方框图及超外差接收机的方框图来说明无线电信号的产生、发射与接收的过程。

一、无线电信号的产生与发射

所谓无线电广播是利用无线电设备，借助无线电波把声音或图象传给远方的听众或观众。图 1—2 是传播声音的无线电广播发射机的方框图。

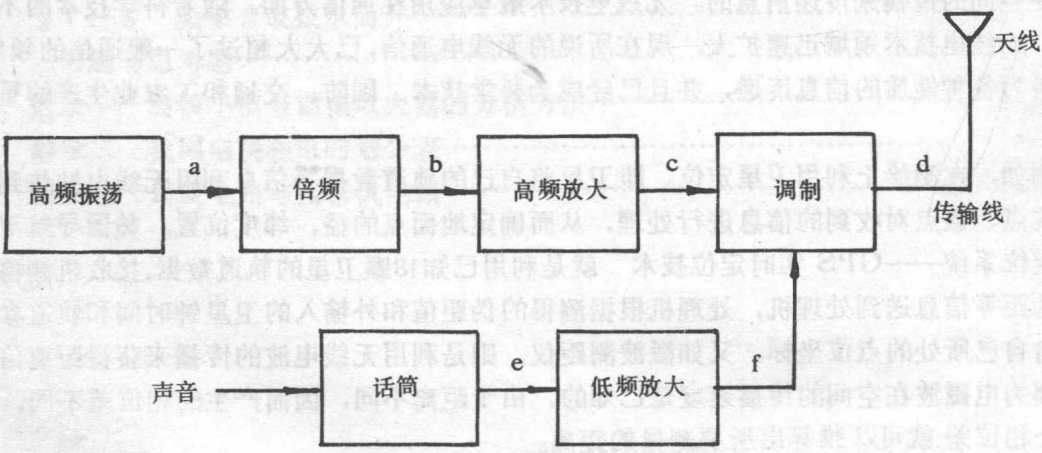


图 1—2 广播发射设备的方框图

对照通信系统的方框图 1—1，图 1—2 中的声音→话筒相当于信号源。而其余部分就相当于发射设备（或称发射机）。

广播设备通常由四部分组成：一是声音的变换与放大，这一部分的频率较低，叫做低

频部分；二是高频振荡的产生、倍频、放大与调制，统称为高频部份；三是天线与传输线；四是电源（未画出）。对于低频部分与电源部分已在其它课程中讲过，这里不再赘述。其余部分均在本课程中讲述。下面简述调制的作用及发射机的工作过程。

声音经话筒变换为相应的电信号，通常这个电信号比较弱，只有几毫伏至零点几伏，需要用音频放大器加以放大，放大后的信号作为调制信号“寄载”到高频振荡上。然后天线将此被调制的高频振荡以无线电波的形式辐射出去。为什么要把低频电信号“寄载”到高频振荡上后再辐射出去呢？因为天线辐射电磁波是有条件的，它要求天线的尺寸必须有适当的长度，电磁波辐射才显著。具体地讲，天线长度必须和高频电振荡的波长相比拟，才能有效地把电振荡辐射出去。而一般声音的频率约为 $20 \sim 20000$ 赫兹，它的波长为 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6$ 米。要制造与这个长度相比拟的天线显然是困难的。天线小了辐射音频信号的效率就很低，甚至辐射不出去。要把音频信号“寄载”到高频振荡中去的另一个原因是避免串扰。因为音频信号的频率范围大体上差不多，如果有甲乙丙丁……几对同时进行通信，就会产生相互串扰而达不到通信的目的。但如果把音频信号“寄载”到不同频率的高频振荡上，这样，既可以避免相互串扰，又可以使尺寸较小的天线能有效地辐射高频电振荡，从而圆满地完成无线电通信的发射任务。我们把这种高频电振荡信号称为载波信号（简称载波），而音频信号称为调制信号。完成这种“寄载”的过程就称为调制。经过调制以后的高频振荡叫做已调信号（或称已调波）。利用传输线把已调信号送到天线上，通过天线就可以把它辐射出去。

我们知道，任一高频正弦波振荡可以表示为

$$u_c(t) = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) \quad (1-1)$$

式中 U_c 为振幅， ω_c 为角频率， φ_c 为初始相位。也称正弦量的三个要素。把音频信号“寄载”到高频振荡中去的方法主要有三种。其一、用音频信号去控制高频振荡的振幅，也就是使高频振荡的振幅随音频信号的大小而变化。这种方法就称为调幅。其二，用音频信号去控制高频振荡的频率，使高频振荡的频率随音频信号的大小而变化。这种方法就称为调频。其三，调相即用音频信号去控制高频振荡的初始相位，使高频振荡的初相位随音频信号的大小而变化的调制方法。

对于图 1—2 调幅广播发射设备的工作原理可用图 1—3 的波形图来说明。

高频振荡产生一等幅的正弦波，其表示式如式 (1—1)，波形图如图 1—3 的 $u_c(t)$ 所示。经倍频、放大后的波形分别如图 1—3 $u_b(t)$ 、 $u_e(t)$ 所示。如果音频信号是单一频率的信号，则可表示为

$$u_a(t) = U_a \cos \Omega t \quad (1-2)$$

式中 U_a 为音频信号的振幅， Ω 为其角频率，设初相位 $\varphi_a = 0$ ，其波形图如图 1—3 的 u_a 。由调幅的定义，已调高频振荡的振幅可以写成

$$U_c (1 + m_a \cos \Omega t)$$

相应的已调波（调幅波）的表示式就可以写成

$$u(t) = U_c (1 + m_a \cos \Omega t) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \quad (1-3)$$

式中， m_a 是一常数，称为调幅系数。

$u(t)$ 的波形如图 1—3 $u_d(t)$ 所示。

由图 1—3 可见。已调信号 u_d 的波形，其频率（指载频）与载波 u_c 的频率相同。而它的振幅变化的轨迹（称包络）与音频信号的变化相同。但已调信号 u_d 已不象高频振

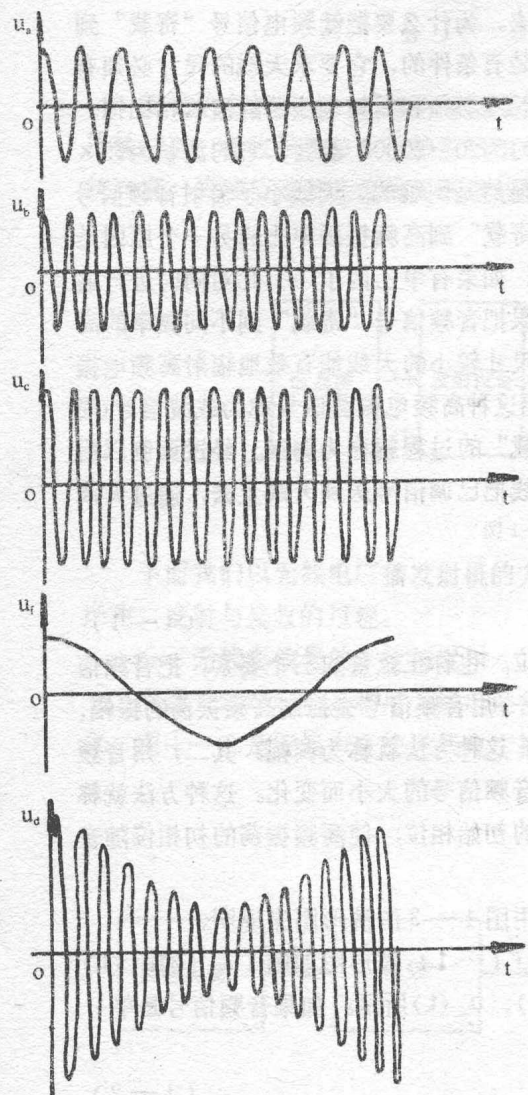


图 1—3 广播发射设备框图各点波形

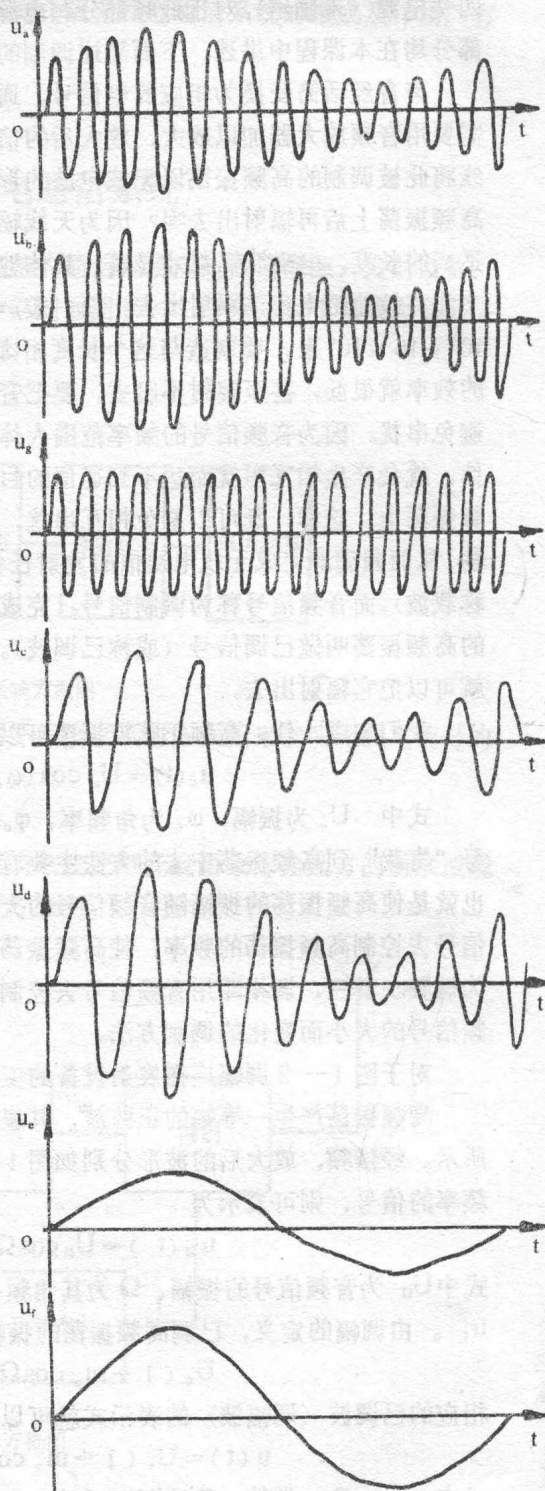


图 1—6 超外差式接收机框图的各点波形

荡 $u_c(t)$ 那样是单一频率了。

图 1—2 的方框图中,倍频器是为了提高载波频率。即将高频振荡器产生的高频振荡,经过倍频器,使高频振荡的频率提高一倍或几倍。在不需要提高频率时,可不设置这部分电路。

综上所述无线电调幅广播发射设备的工作过程如下:由高频振荡器产生高频振荡,经过倍频器、放大器后作为载波。声音经过变换器(话筒)变成电信号,经放大后作为调制信号去调制高频载波的振幅,使高频振荡的振幅随调制信号而变。即已调的高频振荡是带有信息的,它通过传输线被输送到天线,天线则将此已调高频振荡(已调波)以无线电波的形式辐射出去,传到远方。

二、无线电信号的接收

无线电信号的接收过程正好和发射过程相反,它的基本任务是将空中传来的无线电波接收下来并转变为高频电流,然后从高频电流(或电压)中还原出原来的调制信号。这个还原过程恰与调制过程相反,故称为解调。对于调幅信号的解调又称检波。

最简单的调幅接收机如图 1—4 所示。天线接收从空中传来的无线电波,并将它转变为高频电流。由于广播电台很多,故在空中有许多不同载频(即不同电台)的无线电波,这些无线电波均可在接收天线上感应出电流。因而必须有一个选择电路,用它选出所需要电台的信号。此信号是一个高频调幅信号,经检波器检出寄载在它上面的音频电信号,再

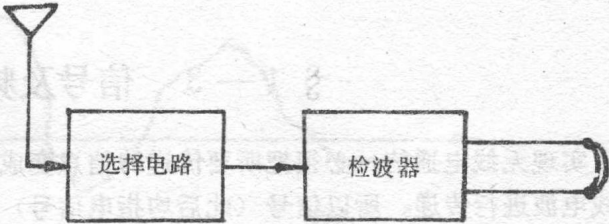


图 1—4 最简单接收机

送到扬声器或耳机,就可以收听到所需要的广播节目。这个接收机虽然很简单,却能接收无线电广播信号。但存在选择性(区分不同电台的能力)差,灵敏度(接收微弱信号的能力)低等缺点,使收到

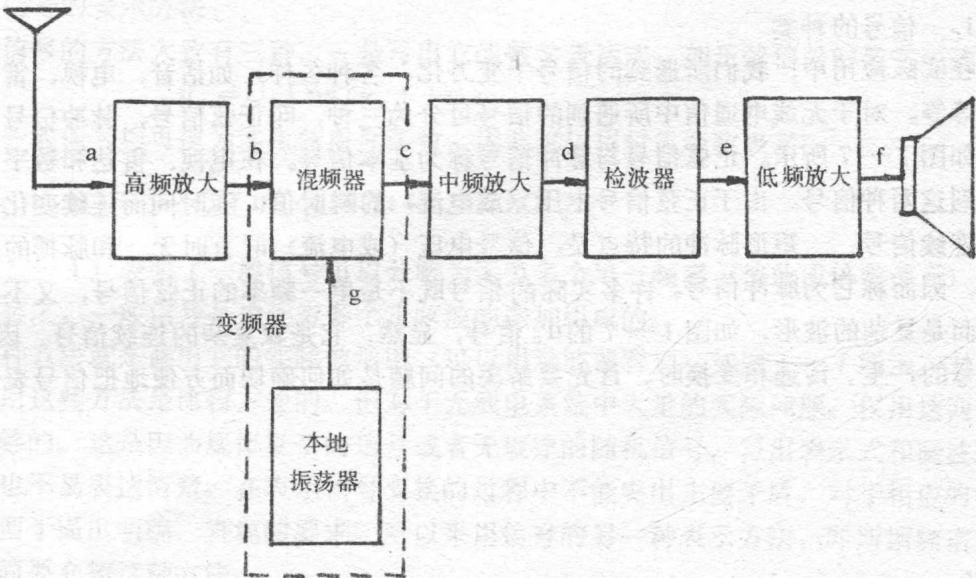


图 1—5 超外差式接收机方框图

的信号质量很差。现在已很少使用它，而几乎都采用能克服这些缺点的超外差式接收机。

图 1—5 是超外差式接收机的方框图，各点波形如图 1—6 所示，见第 10 页。

它的工作过程如下：从天线接收到的微弱信号 u_a ，经过高频放大器选择放大后为 u_b ，再送到混频器，在混频器与本地振荡器产生的等幅信号 u_c 相混频得到信号 u_d 。 u_d 的频率是接收信号与本地振荡信号频率之差，而其包络不变，即 u_d 的包络变化与 u_b 的包络变化相同。它们的频率差是一个固定的中频 465 KHz。这个中频信号 u_d 经过中频放大电路放大后为 u_e ，送到检波器。检波器将其包络变化取出（解调），即为音频信号 u_f ，送到低放电路，经放大后为 u_g 。用低频信号 u_g 去推动扬声器，从而使扬声器发出与信源相同的声音。

超外差式接收机的核心是混频器部分。混频器的作用是将收到的高频已调信号变成载频固定的中频已调信号，而保持其包络不变（对调幅信号而言）。这种作用就是所谓外差作用，这也是超外差式接收机的由来。由于中频是固定的，可采用选择性好的电路，因此中频放大器的选择性与增益可以大大提高。从而提高了整个接收机的性能指标。

以上我们简要地介绍了无线电广播的发送信号和接收信号的原理。这个原理基本上也适用于其它无线电通信系统。

§ 1—3 信号及频谱

为了实现无线电通信，必须把所要传递的信息变成电信号并对它进行各种变换，然后利用无线电波进行传递。所以信号（此后均指电信号）是通信系统的工作对象，传递信号是通信系统的基本任务，完成这个任务的主要手段则是电子电路。因此，我们应该对信号有进一步的了解。

一、信号的种类及表示方法

1. 信号的种类

在实际应用中，我们所遇到的信号千变万化、各种各样。如话音、电视、雷达和数据信号等等。对于无线电通信中所遇到的信号可分为三种，即正弦信号、脉冲信号和一般信号，如图 1—7 所示。正弦信号与脉冲信号称为基本信号。在电视、雷达和数字电路中经常用到这两种信号。由于正弦信号电压（或电流）的瞬时值 u 随时间而连续变化，所以又属于连续信号。矩形脉冲的特点是：信号电压（或电流）时有时无，和脉搏的跳动一样，因而称它为脉冲信号。许多实际的信号既不是单一频率的正弦信号，又不是脉冲信号，而是复杂的波形，如图 1—7 的 u 信号，显然，它是较复杂的连续信号。因此，在研究信号的产生、传递和变换时，首先要解决的问题是如何确切而方便地把信号表示出来。

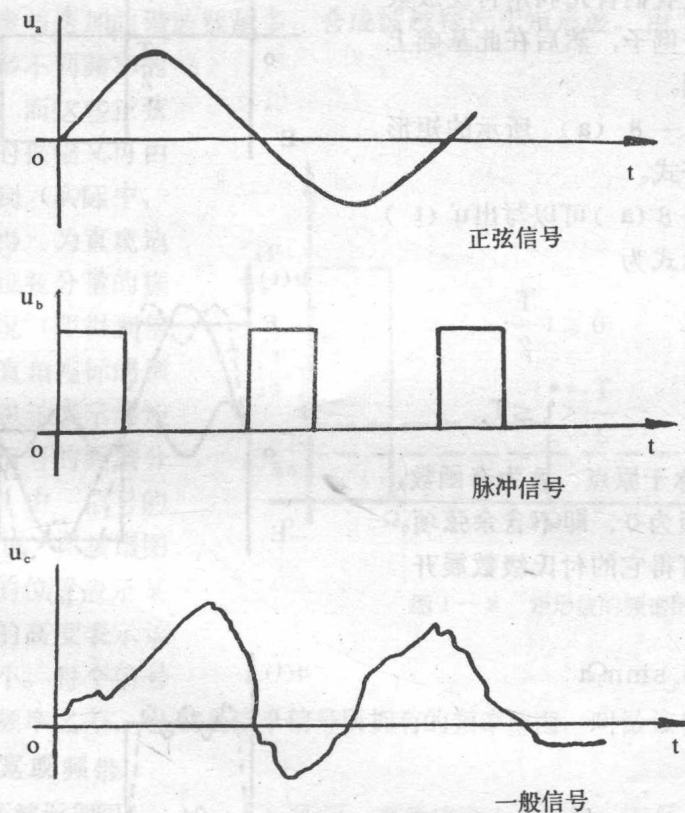


图 1—7 信号的种类

2. 信号的表示方法

表示信号的方法大致有三种，一是写出它的数学表达式，如正弦信号的数学表达式为

$$u_a = U_a \cos(\omega_a t + \varphi)$$

由于一般信号均可视为非正弦周期函数，因此可以用付氏级数表示：

$$u_c(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t] \quad (1-4)$$

式 (1—4) 表明了一般信号可以分解为无穷多个单一频率 (彼此成倍数关系) 的正弦波。换言之，一般信号是由无穷多个正弦波的迭加组成的。

另一种方法就是画出它的实际波形图 (可以用示波器看到)，如图 1—7 所示。对于简单信号，用这些方法是比较方便的。但对于无线电系统中大量的实际问题，仅用这两种方法是很不够的。这是因为规律复杂的信号或者无规律的随机信号，写出表示式和画波形都很麻烦，也不易表达清楚。在表示信号变换的过程中不能突出主要矛盾，对于相应的电路设计也不便于提出明确、直观的要求。所以采用信号的另一种表示方法，即所谓频谱表示法。下面简要介绍这种方法。

二、信号的频谱

所谓频谱就是指组成信号的各正弦分量的振幅按频率的分布情况。由于频谱的概念是建立在对信号的付氏分析的理论基础之上的,所以我们首先利用付氏级数来定量地分析一个例子,然后在此基础上得出信号的频谱图。

例1 求图1—8(a)所示的矩形波的付氏级数展开式。

解:由图1—8(a)可以写出 $u(t)$ 在一个周期的表示式为

$$u(t) = \begin{cases} E & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ -E & \frac{T}{2} < t \leq T \end{cases}$$

因为 $u(t)$ 波形对称于原点,故为奇函数,展开式中偶函数项为0,即不含余弦项。由式(1—4)可得它的付氏级数展开式为

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\Omega t$$

$$\text{式中 } \Omega = \frac{2\pi}{T},$$

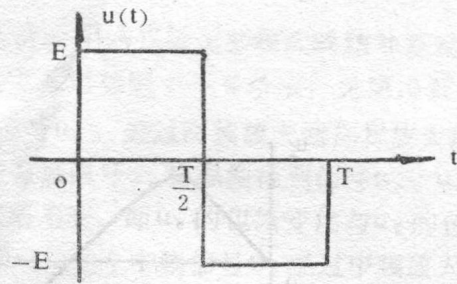
$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{2}} E dt + \int_{\frac{T}{2}}^T (-E) dt \right] = 0$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin n\Omega t dt \\ &= \frac{2}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{2}} E \sin n\Omega t dt + \int_{\frac{T}{2}}^T (-E) \sin n\Omega t dt \right] \\ &= \frac{2E}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \end{aligned} \quad (1-5)$$

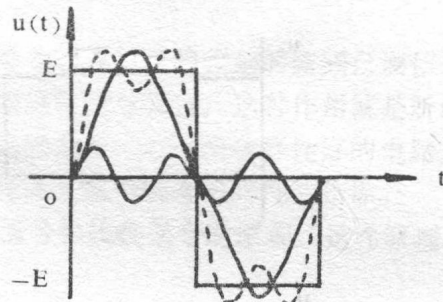
从式(1—5)中看出,当 n 为偶数时, $b_n = 0$, n 为奇数时, $b_n = \frac{4E}{n\pi}$ 。

a_0 等于零表示 $u(t)$ 的直流分量为零,由波形图也可以看出,它正负半周的面积相等,故 a_0 必为零。此时 $u(t)$ 可以写为

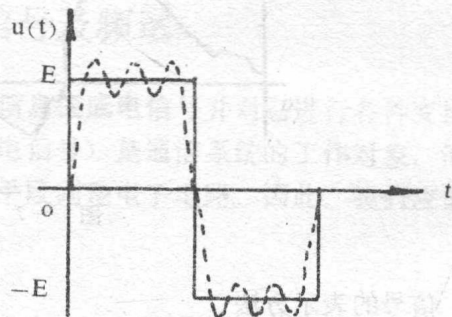
$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2E}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \sin n\Omega t \\ &= \frac{4E}{\pi} \left[\sin \Omega t + \frac{1}{3} \sin 3\Omega t + \frac{1}{5} \sin 5\Omega t + \dots \right] \end{aligned} \quad (1-6)$$



(a)



(b)



(c)

图1—8 矩形波的分解

由以上分析可以看出， $u(t)$ 只是由它的奇次谐波分量迭加组成的。图 1—8 (b) 表示仅由它的一次和三次谐波迭加而成的合成波（虚线所示），它与矩形波相差较大。图 1—8 (c) 表示由它的一、三、五次谐波迭加而成的合成波（虚线表示），它接近于矩形波了。可以推知，参与迭加的谐波数越多，合成波越接近于矩形波。由上我们确信，任何周期信号均可以由许多不同频率的正弦信号之和组成，而这些正弦分量的频率和相应的振幅又可由上述的付氏分析得到（实际中，可用频谱分析仪测得）。为直观地看出组成信号的各正弦分量的振幅按频率的分布情况（即得到信号的频谱），我们以直角坐标的横轴表示谐波频率，纵轴表示相应的谐波振幅，画出信号的频谱分布——频谱图。例 1 中 信号的频谱图示于图 1—9。在频谱图上，每一条频谱线的位置表示某一频率成份，而线的高度表示该频率成份振幅的大小。每个信号的最高频率与最低频率之差，也就是这个信号所拥有的频率范围，叫做该信号的频谱宽度，简称频宽，也叫带宽或频带。

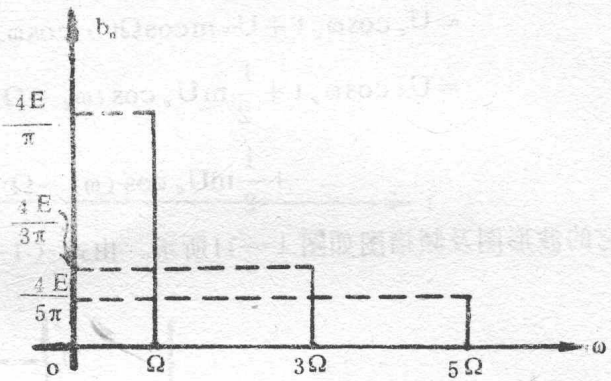


图 1—9 矩形波的频谱图

声音信号的电压波形如图 1—10 (a) 所示，这种信号比较复杂，不易用数学式简单地表示出来。但用频谱的方法来分析它，就不难抓住特点，表达清楚。该信号的频谱成分可用频谱分析仪来测量，结果如图 1—10 (b) 所示。

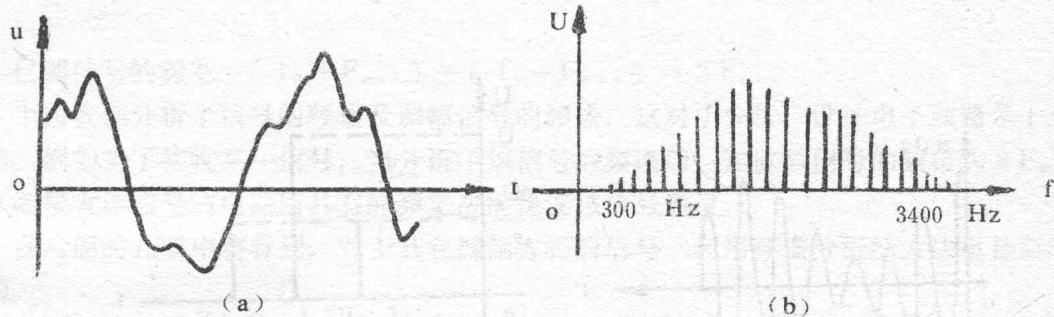


图 1—10 声音信号的波形和频谱示意图

实验结果表明，语音频率范围大约在一、二百赫到几千赫之间，在电话中规定从 300 Hz ~ 3400 Hz。由于语言信号包含的频率成份是连续变化的，因而频谱线应是一片。频