

中等专业学校教材

无线电技术基础

北京无线电工业学校 赵震初 主编



天津科学技术出版社

中等专业学校教材

无线电技术基础

北京无线电工业学校

赵 震 初 主编

天津科学技术出版社

责任编辑：宋淑萍

中等专业学校教材

无线电技术基础

北京无线电工业学校

赵 麓 初 主 编

•

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店天津发行所发行

•

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.25 字数 464,000

一九八二年七月第一版

一九八五年七月第二版

一九八五年七月第四次印刷

印数： 90,301—200,300

书号：15212·58 定价：2.85元

内 容 简 介

本书是中等专业学校第二轮统编教材。书中主要讨论了信号与线性电路的基本理论和分析方法。其主要内容为谐振电路、双端口网络、滤波器、传输线、无线电信号及信号通过线性电路等。为适应中等专业学校的教学特点，书中着重阐明物理含意，并适当进行定量分析，同时为使学生加深对问题的理解，掌握分析计算方法，还举出了一定数量的例题和练习题。

前 言

本教材系由中专电类专业教材编审委员会无线电技术编审小组评述审定，并推荐出版。

该教材由北京无线电工业学校赵震初担任主编，天津仪表无线电工业学校王祥生担任主审。编审者均依据无线电技术编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅。

本课程的参考教学时数为 112 学时，其主要内容为谐振电路、双端口网路、滤波器、传输线、无线电信号、信号通过线性电路等部分。使用本教材时应注意结合中专学生的基础知识，着重阐明它的物理含意，为了使学生对基本原理理解更深化，还必须进行适当的定量分析，同时为便于学生掌握分析计算方法，还必须讲解一定数量的例题和练习题。

参加本书审阅工作的无线电技术编审小组的全体同志，为本书提出了许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论

一、无线电技术的发展与应用	(1)
二、信号分析	(2)
三、无线电通信的基本原理	(6)
四、无线电波的波段划分	(8)
五、本课程的目的、任务和要求	(9)
第一章 简单谐振回路	(12)
§1-1 引言	(12)
一、组成谐振回路的元件	(12)
二、串联谐振电路和谐振现象	(14)
三、串联谐振时的能量关系	(18)
§1-2 串联谐振回路的幅频曲线和相频曲线	(20)
一、幅频曲线	(20)
二、相频曲线	(23)
§1-3 串联谐振回路元件上的电压频率特性	(24)
一、电容器的电压与频率的关系	(24)
二、电感线圈上的电压与频率的关系	(25)
§1-4 串联谐振回路的通频带	(26)
一、通频带的概念	(26)
二、通频带与回路参数的关系	(27)
三、选择性	(30)
四、矩形系数	(30)
五、信号源内阻及负载对通频带的影响	(31)
§1-5 串联谐振回路在无线电技术中的应用	(32)
§1-6 简单并联谐振电路和并联谐振	(33)
一、并联谐振	(33)
二、谐振阻抗	(34)
三、谐振时总电流与支路电流的关系	(34)
§1-7 并联谐振回路的阻抗曲线	(35)
§1-8 并联谐振回路的电压幅频曲线、相频曲线和通频带	(37)
一、电压幅频曲线、相频曲线和通频带	(38)
二、电源内阻和负载电阻对回路通频带的影响	(39)
§1-9 复杂的并联谐振电路	(43)
一、并联回路谐振阻抗的一般计算公式	(43)
二、双电感和双电容并联回路的谐振频率和谐振阻抗	(45)
三、接入系数	(47)

四、电源和负载都是部分接入时的复杂并联回路	(49)
§1-10 并联回路的滤波作用	(52)
§1-11 纯电抗单端口网路的频率特性	(54)
一、由单个电抗元件构成的单端口网路的频率特性	(54)
二、由两个电抗元件构成的单端口网路的频率特性	(55)
三、由三个电抗元件构成的单端口网路的频率特性	(57)
§1-12 本章内容小结	(60)
复习题	(62)
第二章 耦合谐振电路	(66)
§2-1 概述	(66)
§2-2 耦合系数	(67)
一、各种耦合方式的一般性电路	(67)
二、耦合系数	(68)
§2-3 耦合回路的等效电路	(70)
§2-4 耦合回路的调谐	(76)
一、部分谐振	(77)
二、复谐振	(79)
三、全谐振	(81)
§2-5 双调谐耦合回路的次级频率特性	(84)
一、串联双调谐耦合回路的次级电流频率特性	(84)
二、并联双调谐耦合回路的次级电压频率特性	(88)
§2-6 双调谐耦合回路的通频带	(91)
一、 $k/k_c < 1$ 时, 即 $k < k_c$ 的回路通频带	(91)
二、临界耦合时, 即 $k/k_c = 1$ 时的回路通频带与矩形系数	(92)
三、当耦合加强到 $k/k_c > 1$ 时的回路通频带	(93)
§2-7 本章内容小结	(96)
复习题	(97)
第三章 双端口网路	(101)
§3-1 概述	(101)
§3-2 双端口网路的基本方程和参数	(103)
一、阻抗方程与 Z 参数	(103)
二、导纳方程与 Y 参数	(105)
三、传输方程与 A 参数	(105)
四、混合方程与 h 参数	(107)
五、实验参数	(107)
§3-3 双端口网路的网路函数	(109)
一、输入阻抗和输出阻抗	(110)
二、传输函数	(111)
§3-4 线性双端口网路的等效电路	(114)
一、可逆双端口网路的等效电路	(114)
二、不可逆双端口网路的等效电路	(118)

§3-5 双端口网路的联接	(121)
一、双端口网路的串联	(121)
二、双端口网路的并联	(124)
三、双端口网路的链式联接	(125)
§3-6 双端口网路的镜像参数	(126)
一、特性阻抗 (镜像阻抗)	(126)
二、传输常数	(128)
三、传输常数与 A 参数及实验参数的关系	(130)
四、匹配链联网路	(131)
§3-7 阻抗匹配网路	(133)
一、 T 型和 π 型阻抗匹配网路的计算公式	(133)
二、电抗相移器	(134)
三、衰减器	(135)
§3-8 本章内容小结	(139)
复习题	(142)
第四章 滤波器	(145)
§4-1 概述	(145)
§4-2 滤波器的传通条件	(146)
§4-3 K 式滤波器	(148)
一、 K 式低通和高通滤波器	(148)
二、 K 式带通和带阻滤波器	(153)
§4-4 m 式滤波器	(158)
一、串联 m 推演式滤波器	(159)
二、并联 m 推演式滤波器	(161)
三、 m 式滤波器的衰减和相移常数	(165)
四、 m 式滤波器的特性阻抗	(166)
五、 m 值的选择及 m 式滤波器的优缺点	(168)
§4-5 复合滤波器的设计	(168)
§4-6 其它类型的滤波器	(171)
一、晶体滤波器	(171)
二、机械滤波器	(174)
三、声表面波滤波器 (简称面波滤波器)	(175)
四、 RC 滤波器	(176)
§4-7 本章内容小结	(177)
复习题	(178)
第五章 传输线	(180)
§5-1 一般概念	(180)
§5-2 传输线方程	(181)
§5-3 均匀传输线上的波	(184)
一、传输线上存在入射波与反射波	(184)
二、行波	(185)

三、反射系数	(138)
§5-4 传输线的特性阻抗与传输常数	(189)
§5-5 高频传输线	(191)
§5-6 终端短路、开路和纯电抗负载的无损耗线	(193)
一、终端短路的无损耗线	(193)
二、终端开路的无损耗线	(197)
三、终端为纯电抗负载的无损耗线	(199)
§5-7 终端接任意负载的无损耗线	(200)
一、线上电压与电流的分布	(200)
二、驻波比和行波系数	(202)
三、线上任意点的输入阻抗	(202)
§5-8 延迟线	(203)
§5-9 传输线的应用	(205)
一、传输线用作谐振电路	(205)
二、传输线用作谐波抑制网路	(206)
三、传输线用作阻抗变换器或阻抗匹配器	(207)
§5-10 本章内容小结	(208)
复习题	(210)
第六章 无线电信号	(212)
§6-1 概述	(212)
§6-2 非正弦周期性信号	(213)
一、非正弦周期信号的合成	(213)
二、非正弦周期信号的分解	(214)
三、非正弦周期信号的频谱	(217)
§6-3 非周期性信号	(221)
一、非周期信号的频谱函数	(221)
二、傅里叶积分	(222)
三、傅里叶变换的几个基本性质	(223)
四、非周期信号的频谱	(224)
§6-4 调幅波信号	(232)
一、调幅波的频谱	(232)
二、调幅波的功率关系	(236)
§6-5 调角波信号	(237)
一、一般概念	(237)
二、调角波的频率偏移和调制指数	(239)
三、调角波的频谱	(241)
§6-6 本章内容小结	(244)
复习题	(247)
第七章 无线电信号通过线性电路	(249)
§7-1 引言	(249)
§7-2 时域分析法	(250)

一、一阶线性时不变电路的动态方程及其解的形式	(250)
二、阶跃响应与冲激响应	(254)
三、卷积积分法	(258)
四、杜阿密尔积分	(265)
五、卷积积分的数值计算	(266)
§7-3 频域分析法	(269)
一、非正弦周期性信号通过线性电路	(270)
二、非周期信号通过线性电路	(271)
三、无失真传输条件的进一步讨论	(273)
§7-4 复频域分析法	(274)
一、傅里叶变换在复频域中的推广——拉普拉斯变换	(274)
二、拉氏变换的基本性质	(278)
三、复频域分析法——运算法	(281)
§7-5 本章内容小结	(286)
复习题	(287)

绪 论

一、无线电技术的发展与应用

很久以来,人们曾寻求以各种方式来实现信号的传输。早在公元前七百余年,我国的祖先就以烽火台的火光传送敌人入侵的警报。这是历史记载的最早的信号。随后,人们又利用击鼓或鸣钟的音响传达战斗的命令。以后又出现信鸽、旗语、驿站等传送消息的方法。在那时,信号的形式和内容都是简单的,传送信号的方法无论在距离、速度或可靠性与有效性方面仍然没有得到明显的改善。随着人们实践活动和科学技术的日益发展,要求传达的内容相继复杂,信号的形式也不断增多,传送的方法要求快和准确。十九世纪初,人们开始研究如何利用能够沿导线传输的电信号来传送消息,即所谓“有线电通讯”。1837年莫尔斯发明了电报,他用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876年贝尔发明了电话,直接将声信号(语言)转变为电信号沿导线传送。十九世纪末,人们又致力于研究利用能够以电磁波形式在空间传输的无线电信号来传送消息,即所谓“无线电通讯”,简称无线电。1865年英国的麦克斯韦总结了前人的科学技术成果,提出了电磁波的学说,并于1873年发表了关于电磁波方面的著名论文。1887年德国赫兹通过实验证实了麦克斯韦的学说,为电子科学奠定了基础。1895年意大利的马可尼和俄国的波波夫发明了无线电,实现了无线电通信,从而开辟了无线电技术这一新的领域。随着各类电子器件的出现,无线电技术日新月异地向发展着,继而出现了无线电广播、传真和电视。到本世纪三十年代中期以前,无线电技术主要是在上述通信方面发展,完成了利用电磁波来传递电码、声音和图象的任务。直到今天,无线电通信仍是在不断提高和发展中。

无线电技术的发展是与电子器件的发展紧密结合的。电子器件是无线电设备的核心元件,无线电技术的发展向电子器件提出了新的要求,而新的电子器件的出现又反过来推动无线电技术的跃进。在无线电发展史上,电子管、半导体器件、激光器件、大规模集成电路等的出现,都促使无线电技术发生飞跃,所以无线电技术的发展过程,同时也是电子学的发展过程,由于这个原因,人们常常把无线电和电子学合起来称为无线电电子学。

无线电电子学最早应用在通信方面,以后随着它的发展,应用范围就不限于通常意义的通信了,而是扩展为各种性质的消息的传递,现在无线电电子学已经广泛地应用在科学技术的各个领域。

电报是先将欲传送的电文译成电码,使成为代表数字或字母的一系列电流脉冲(称为电信号、简称信号),再把这些电信号传送到接收端,最后在接收端将信号译为原来的电文。

电话是将欲传送的语言或音乐转换成为与之相对应的电流或电压(信号),将它传送到接收端后,利用耳机或扬声器将信号还原为声音。

传真和电视传送的是图象,前者传送的是固定图象,如照片、图表、手稿、资料等;后者传送的是活动图象,如舞台上的表演、生产现场的运行实况,等等。发送设备按一定规律将画面变换成相对应的电信号,该信号在接收设备中再按一定的规律转换为光,显影在感光纸(传真)或荧光屏(电视)上。

雷达也叫无线电定位，它利用电磁波受物体反射的原理来测定空中、水面或陆地上各种目标的位置和运动参数。

无线电遥控是用电信号控制远处机体运行的自动化技术。例如为使导弹紧跟目标，可以用地面雷达测定导弹和目标的相对位置及其它运动参数。地面计算机根据雷达提供的数据计算出修正导弹航向所需的控制量，并将其转换为控制信号由地面的发送设备发出，弹上接收机收到后再传送给有关部件，以控制导弹的航行。无线电遥测是利用电子学的方法测量远处各种物理量的技术。例如卫星内部的工作情况，宇航员的生理状况，舱内温度、气压等。遥控遥测技术还广泛地应用于工业生产自动化、运输、医疗、钻探和科学研究等许多方面。

电子计算机是近代无线电电子学发展的一大成就，它能够在某种程度上模拟人类大脑活动的过程，能够按照人们预先安排好的程序进行计算；它可以代替上万个熟练计算人员的复杂的脑力劳动，还可以解决因为极度繁杂而人力不能解决的计算问题。微型计算机可以做为智能终端与计算机网接通，可以接收、发送、存贮、处理任何种类的数据信息，包括语言、图象、音乐、文件等等，它既可以协助我们进行工程设计，资料寻查，事物管理，通讯联络，数据处理等等，又可以提供各式各样的视听娱乐。

以上种种，虽然所使用的具体设备各不相同，但都是利用不同形式的信号传送消息（语言、音乐、图象、景物、测量数据等），它们都属于信息的传输。

无线电电子学的内容十分丰富，它的高速发展，特别是电子计算机技术的高速发展和广泛应用，对于实现农业、工业、国防和科学技术的现代化有十分重要的作用。

二、信号分析

我们一般将语言、文字、图象或数据等统称为消息。而将消息给予受信者的新知识称为信息。这就是说，消息不同于信息，在消息之中包含有一定数量的信息。人们相互问讯，发布新闻，传递数据或广播图象，其目的就是要传送某些消息，给对方以信息。但是消息的传送一般都不是直接的，必须借助于一定的运载工具，并将消息变换成某种表现形式。我们将消息的运载工具和表现形式称为信号。因此，信号是某种物理量，如光、声、电等，并因此分别称为光信号、声信号、电信号等。信号的变化即表现为物理量的变化，而物理量的变化就代表了一定的消息。所以利用信号来传送消息，一般都需要在发送端将欲传送的消息转变成信号，经过传输以后，在接收端再将信号还原为消息。

在可以做为信号的各种物理量中，电量是最为常见和应用最广泛的物理量。这是因为电量容易产生和控制，并且与非电量可以比较容易地互相变换。实用中的电信号大都是随时间而变化的电压或电流。例如放大器的输出电压、扬声器中的电流、心电图中的电脉冲、计算机中的电码等都是电信号。本书只讨论电信号。

信号的形式是多种多样的，它主要有两种结构：连续时间信号和离散时间信号。

连续时间信号是指在连续时间范围内所定义的信号，如图0-1所示。需要注意的是，这里“连续”是指时间，至于信号的幅值可以是连续数值，也可以不是。连续时间信号也简称为连续信号。象电话或广播的语言信号，电视的图象信号等都是连续信号。

离散时间信号是指：在一些离散的瞬间才有定义的信号，如图0-2所示，信号仅在 $t=0, 1, 2, \dots$ 才有确定的幅值，而在其余时间，信号 $f(t)$ 没有定义。这里“离散”是指时间，至于离散瞬间的间隔可以是均匀的，也可以是不均匀的。离散时间信号也简称为离散信号。象雷达数据、遥控指令等都是离散信号。

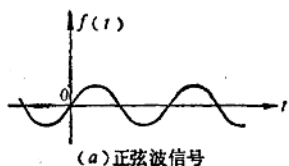


图 0-1 连续时间信号

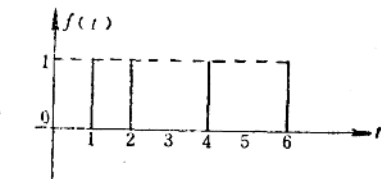
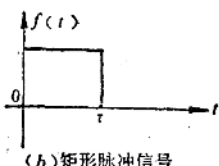


图 0-2 离散时间信号 (数字信号)

信号可分为确知信号和随机信号。确知信号 (也可叫规则信号) 的电压或电流可以表示为一个确定的时间函数, 当给定某一时间值时, 函数有确定的数值。确知信号按函数值的重复性来分, 又可分为周期性信号和非周期性信号。实际上, 由于种种原因, 在信号传输的过程中存在着某些“不确定性”或“事先不可预知性”。譬如, 在通信系统中, 收信者在收到所传送的消息之前, 对信息源所发出的消息总是不可能完全知道的, 否则通信就没有意义了。此外, 携带消息的信号在传输的各个环节中不可避免地要受到各种干扰和噪声的影响, 使信号失真 (畸变), 而这些干扰和噪声的特性总是不可能完全确知的。这类“不确定性”和“事先不可预知性”统称为随机性, 所以严格说来, 一般的信号都是随机信号或称为不规则信号。研究随机信号要用统计的观点和方法。虽然如此, 研究确知信号仍是十分重要的, 这是因为它是一种理论上的科学抽象, 同时也是研究随机信号问题的重要基础。本书主要讨论确知信号。

无线电技术的一个重要任务就是进行无线电通信, 它不用导线就能将各种电信号由发送者传送给接收者, 以达到传递信息的目的。为此, 就必须先将欲传送的消息变为相应变化的电压或电流信号, 这种电信号亦称原始信号。通信中所传送的各种电信号不是单一频率的正弦波, 而是包含许多频率的非正弦波, 例如, 人类的语言就包括了从30~10000赫的频率范围。

对于一个波形比较复杂的信号, 利用傅里叶分析可将其表示为许多正弦函数之和或积分 (详见第六章), 也就是说, 具有复杂波形的信号可以看作是由许多不同频率的正弦 (或余弦) 分量所组成。例如某信号 $f(t)$ 可以写为:

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t) \\ &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t - \phi_n) \end{aligned} \quad (0-1)$$

式中 $\frac{1}{2} a_0$ 为信号中的直流分量, Ω 为角频率, $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 分别为各频率分量的振幅, 而 $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$ 分别为各频率分量的相位。为了能够既方便又直观地表示出一个信号中包含哪些频率分量及各分量所占的比重和相位关系怎样, 我们采用了称为频谱图的表示方法。如果在直角坐标中, 以角频率为横轴, 以振幅为纵轴, 将每一个分量的振幅用一条竖线画在坐标上, 就是该信号的振幅频谱图, 如图0-3 (a) 所示。类似地, 以角频率为横轴, 以相位为纵轴, 亦可画出信号的相位频谱图, 如图0-3 (b) 所示。图0-3这样的频谱称为离散频谱, 它仅在某些频率上有值。

一般而言, 信号分解的表示式有无穷多项, 在一般情况下, 频率愈高的分量, 振幅愈

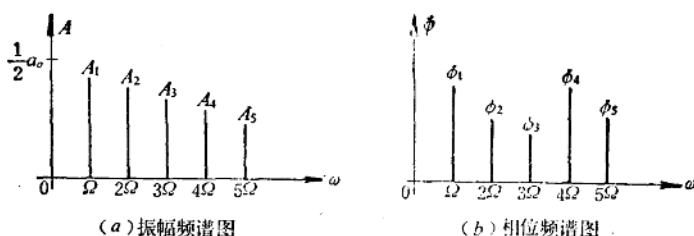


图 0-3 信号的频谱图

小，也就是说，信号的功率或能量是集中在较低频率范围内的。在实用中常常可以将频率高于某一数值以后的那些分量略去不计，因而一个信号的表示式只取有限项就够了。也就是说，许多实际信号只占据有限的频段，这个频段称为该信号的频谱宽度或频带宽度。譬如，由实验结果表明，在传输语言信号时，只传输 3 千赫以下的各频率分量就足以保证语言清晰，而在传输音乐时，只传输 5 千赫以下的频率分量就相当满意了。用于无线电广播的声频信号频率范围约为 50~4500 赫。

低频率的电信号实际上不可能以电磁波的形式从天线有效地辐射到空间去，只有当馈送到天线的电流频率足够高，即波长足够短，短到能与天线的尺寸相比拟时，才会有足够的电磁能辐射出去。上述的声频范围所对应的波长大约从几十公里到几千公里，要制造能辐射这种波长的电磁波的天线显然是不可能的。而且即使有可能把这种低频信号发射出去，各个电台所发出的信号，也将在空间纠缠起来，使接收者无法选择出所要接收的信号。因此，要想不用导线传送信号，只能借助于高频电磁波，由它将低频信号“携带”到空间去。不同的电台可以采用不同频率的高频电磁波，这样接收者只需利用一个谐振电路之类的选频网路，就能把所需电台的信号接收下来，避免了互相干扰。

高频电磁波携带低频信号，是由用低频信号去控制等幅高频振荡的某一参数（振幅、频率或相位）来达到的，即使该参数按低频信号的规律去变化。这种用原始信号去控制高频正弦波的过程称为调制。当被控制的是高频振荡的幅度时，这种调制称为幅度调制，或简称调幅。同样，当被控制的是高频振荡的频率或相位时，则分别称为频率调制或相位调制，简称调频或调相。经过调制以后的高频振荡称为已调波。原始信号是用来调制高频振荡的，所以亦称调制信号（或称控制信号），而被调制的等幅高频振荡则起着运载信号的工具的作用，于是就称之为载波。调制信号和已调波的总称为无线电信号。载波的频率一般从几百千赫到几千兆赫。

下面，以调幅波为例来说明无线电信号的一个重要特性。若设高频振荡为等幅的正弦波，其初相为零，并用下式表示：

$$i_1(t) = I_m \sin 2\pi f_c t \quad (0-2)$$

式中 I_m 、 f_c 分别代表高频振荡的振幅和频率。

若要传送的低频信号（又称调制信号，这里低频的含义，从广义角度上来说是大大低于载波频率的信号频率 F ，其实 F 的绝对数量也可能并不低）为简单的余弦波，并用下式表示：

$$i_2(t) = I_{m\Omega} \cos 2\pi Ft \quad (0-3)$$

式中 $I_{m\Omega}$, F 分别表示调制信号的振幅和频率。

若现在要进行调幅, 即用低频信号去控制高频振荡的振幅, 这就是说, 调幅波的瞬时振幅应按调制信号的规律去变化, 所以调幅波的瞬时振幅值应为:

$$\begin{aligned} I_m(t) &= I_{mc} + I_{m\Omega} \cos 2\pi Ft \\ &= I_{mc} (1 + m \cos 2\pi Ft) \end{aligned} \quad (0-4)$$

式中 $m = \frac{I_{m\Omega}}{I_{mc}}$ 代表调幅系数, 它的数值通常在 $0 \sim 1$ 之间。

由式(0-4)可以直接写出调幅波的数学表示式:

$$\begin{aligned} i_3(t) &= I_m(t) \sin 2\pi f_c t \\ &= I_{mc} (1 + m \cos 2\pi Ft) \sin 2\pi f_c t \end{aligned} \quad (0-5)$$

调幅波的波形如图0-4所示。左边是波形图, 右边是频谱图, 频谱图的横坐标是频率纵坐标是振幅。

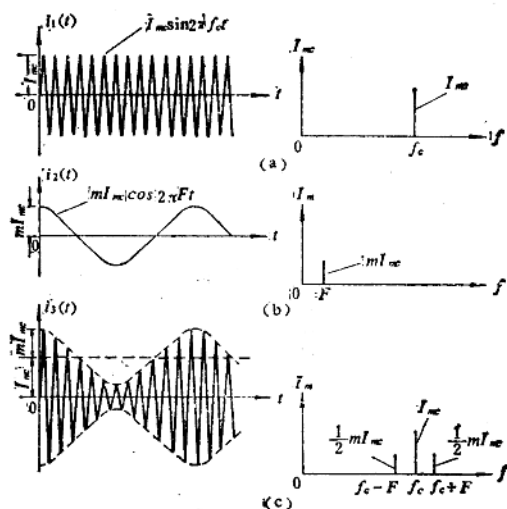


图 0-4 调幅信号的波形与频谱

(a) 高频信号的波形及频谱 (b) 音频信号的波形及频谱 (c) 调幅信号的波形及频谱

若将式(0-5) 利用三角公式展开可得:

$$\begin{aligned} i_3(t) &= I_{mc} (1 + m \cos 2\pi Ft) \sin 2\pi f_c t \\ &= I_{mc} \sin 2\pi f_c t + m I_{mc} \cos 2\pi Ft \sin 2\pi f_c t \\ &= I_{mc} \sin 2\pi f_c t + \frac{m I_{mc}}{2} \sin 2\pi (f_c + F) t \\ &\quad + \frac{m I_{mc}}{2} \sin 2\pi (f_c - F) t \end{aligned} \quad (0-6)$$

由上式可见, 这个调幅信号是由三个正弦分量所组成的, 第一项为载频分量, 它的频率为 f_c , 这就是未加调制的载波。第二、第三项称为边频分量或旁频分量, 它们的频率分别为 $f_c + F$ 和 $f_c - F$, 其振幅都是载频分量的 $\frac{m}{2}$ 倍。其中频率为 $f_c + F$ 的称为上边频分量, 频率

为 $f_c - F$ 的称为下边频分量。由图0-4(c)右边的频谱图看出：这三个分量分布在 $f_c - F$ 到 $f_c + F$ 的频段内，或者说，这个调幅信号占据了以载波频率 f_c 为中心、宽度为 $2F$ 的频带。

上例说明了调制信号在只有一个频率下的情形。实际上，无论语言或音乐都是一个复杂的非正弦波，它由许多不同频率的正弦分量所组成，因此，用它去调制高频信号后，根据上面的分析，可以推出许多对旁频，上旁频分量将出现在频率为 $f_c + F_1, f_c + F_2, \dots, f_c + F_n$ 的地方， $(f_c + F_1)$ 至 $(f_c + F_n)$ 的频率范围叫上边带。而下旁频分量将出现在频率为 $f_c - F_1, f_c - F_2, \dots, f_c - F_n$ 的地方， $(f_c - F_1)$ 至 $(f_c - F_n)$ 的频率范围叫下边带。总的频带宽度为 $2F_n$ ，即两倍于最高调制信号的频率，其振幅频谱图如图0-5所示。

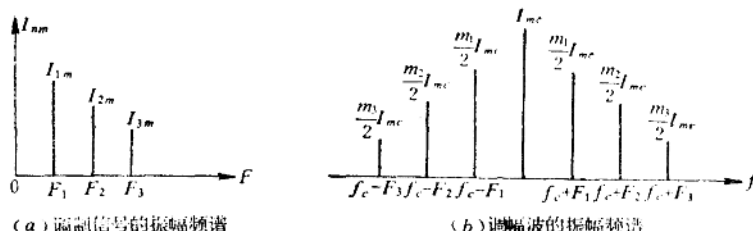


图 0-5 非正弦周期信号及其调制的调幅波的振幅频谱图

由图0-5看出，无线电信号的频带宽度（简称带宽）是由调制信号的频带宽度来决定的。例如，无线电调幅广播的带宽为9千赫，通常说中央人民广播电台的频率是540千赫就是指载波频率，它发射的无线电波将占据535.5~544.5千赫的频率范围。电视信号的频带较宽，约为6兆赫，它的载波频率也较高，约在48~223兆赫之间。

不同的无线电信号具有不同的载波频率，并都占有一定宽度的频带。例如，在无线电广播中，中央人民广播电台第一套节目采用的载波频率有540千赫、639千赫、756千赫等，第二套节目采用的载波频率有630千赫、720千赫等，它们的频带宽度都在9千赫左右。

三、无线电通信的基本原理

前面已经指出，无线电通信的任务是要将代表消息的信号由发射设备以无线电波的形式向空间辐射出去，在接收地点由接收设备将无线电波接收下来，再恢复成为原信号，如图0-6所示。

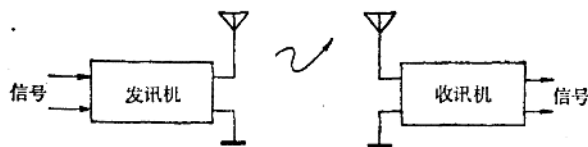


图 0-6 无线电通信

要进行无线电通信必须通过调制的过程，将欲传送的信号寄载在高频振荡上，然后再由天线发射出去。所以无线电发射设备的最基本的组成部分，应包括高频放大器（包括高频发生器与放大器）、调制器、天线与电源，如图0-7(a)所示。

高频放大器包括高频发生器与高频电压和功率放大器。高频发生器是一个振荡器，它负责产生载波。高频电压和功率放大器是用来增大高频功率的。

调制器把欲传送的低频信号调制到载波上去，即使高频振荡的某一参数按低频信号的规

律变化。

天线的作用就是将已调制的高频振荡波辐射到空间成为无线电波。

电源的作用是供给发送设备所需要的一切电能。这电源可由交流市电供电，也可以是自给的发电设备。

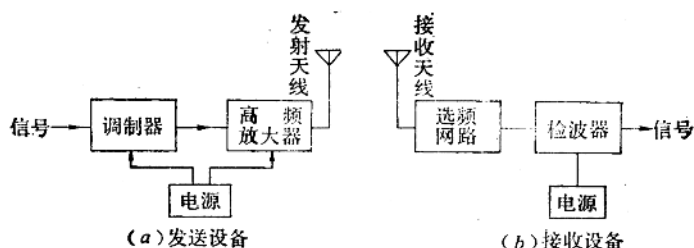


图 0-7 无线电发送设备与接收设备

无线电波由电台发出后，就在空中传播。待到了接收地点，接收天线就把传送来的电波转变为已调高频信号，但是天线同时收集了许多不同电台所发出的不同载波频率的无线电信号（即已调高频振荡信号），所以要用一个选频网路把所要接收的无线电信号选出。经选出的无线电信号经放大后送入检波器去检波。所谓检波就是从已调高频振荡中检拾出附加于其上的低频信号的过程，因而检波与调制是相反的过程。接收设备的基本组成部分如图0-7(b)所示。

无线电通信的基本任务是传送消息。理想的通信应该是所接收到的消息和发送的消息完全相同。但是，当发送设备和接收设备本身不完善，使得信号在这些设备的传输和变换过程中产生一定程度的失真时，就影响信号传输的质量。发送设备和接收设备在一般情况下是由线性网路和非线性网路构成的。信号通过线性网路时产生的失真主要是线性失真（即频率失真，它包括幅度频率特性失真和相位频率特性失真），信号通过非线性网路产生的失真主要是非线性失真。

为了减小甚至避免信号在传输过程中的失真，就要求发送设备和接收设备尽量做到无失真的传输。

所谓信号无失真的传输是指信号经过网路后其输出信号与输入信号相比，只有幅度的大小和出现时间先后的不同，而波形没有变化。如图0-8(a)是输入信号，它经过线性网路后的输出信号 $y(t)$ 如图0-8(b)所示。由图可见，输出信号 $y(t)$ 比输入信号 $f(t)$ 的幅度小，并延迟了一段时间 t_d ，而波形是完全相同的。

设输入信号含三个分量 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 和 $f_3(t)$ ，如图0-8(c)所示。不难设想，如果这三个分量经过网路后都减小同样的倍数并且延迟相同的时间 t_d ，如图0-8(d)所示，那么，由三个输出分量 $y_1(t)$ 、 $y_2(t)$ 和 $y_3(t)$ 迭加组成的总响应 $y(t)$ 必然是无失真的。这就要求网路的振幅-频率特性 $H(\omega)$ 是一常数，令其为 K ；由于各频率分量落后的相位是 ωt_d ，而对不同 ω 的输入信号所产生的延迟时间 t_d 为一常数，这就要求网路的相位-频率特性正比于角频率 ω 。总结以上两项可知，为使信号经过网路后不产生失真，就要求网路在信号频带内的频率响应为：

$$H(j\omega) = H(\omega) e^{j\varphi(\omega)} = K e^{-j\omega t_d} \quad (0-7)$$

即
$$H(\omega) = K \quad (0-8a)$$