

邮·电·中·等·专·业·学·校·教·材

高频电子电路

王敏 编 张家安 审



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是按照邮电中等专业学校修订的“高频电子电路”教学大纲编写的。内容包括晶体管的高频参量及等效电路、宽频带放大器、调谐放大器、高频正弦振荡器、变频器、振幅调制及检波、频率调制及解调等。

本书是邮电中等专业学校教材，也可供其他有关中专学校师生和工程技术人员参考。

邮电中等专业学校教材

高频电子电路

王 旭 编

张家安 审

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京顺义兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1990年10月 第 一 版

印张：15 24/32 页数：252 1990年10月北京第1次印刷

字数：362 千字 印数：1-5 000 册

ISBN7-115-04352-3/G·077

定价：3.00 元

前 言

本书是邮电中等专业学校用书。为了适应邮电教育事业发展的需要，我局自1978年以来，先后成立了邮电中专教材编审委员会及基础课和专业课教材编审组（或小组），全面开展了教材编审活动。到目前为止第一轮邮电中专试用教材已基本上出齐。自1982年开始了各编审组（或小组）对试用几年的教材进行了总结，对原教学大纲进行了修订，并在此基础上，对各课程的邮电中专试用教材作了比较全面的修改和补充。以适应当前邮电技术的发展。我们在几年内，将修改后的教材陆续出版，以满足邮电中等专业学校的教学需要。编写教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师和使用过程中，把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局
一九八四年十月

目 录

绪论	(1)
第一章 晶体管高频参量及其等效电路	(15)
第一节 P-N结电容	(16)
第二节 共基极T型高频等效电路	(20)
第三节 混合 π 型高频等效电路及晶体管的几个 频率参数	(26)
第四节 晶体管的Y参量等效电路	(37)
思考题和习题	(45)
第二章 晶体管宽频带放大器	(46)
第一节 共发射极宽频带放大器	(46)
第二节 多级宽频带放大器电路的分析	(63)
第三节 宽频带放大器的时延	(68)
第四节 共基极宽频带放大器	(71)
第五节 共集电极宽频带放大器基本电路介绍	(99)
第六节 展宽频带的方法	(101)
第七节 负反馈对宽带放大器	(109)
第八节 集成化宽带放大器	(115)
思考题和习题	(122)
第三章 小信号调谐放大器	(123)
第一节 晶体管调谐放大器的一般介绍	(123)
第二节 单调谐回路放大器	(133)
第三节 双调谐放大器	(137)

第四节	参差调谐放大器	(145)
第五节	集成电路谐振放大器	(152)
第六节	调谐放大器稳定工作的具体措施	(157)
第七节	调谐放大器的自动增益控制	(165)
	思考题和习题	(173)
第四章	晶体管高频正弦振荡器	(174)
第一节	概述	(174)
第二节	几种高频振荡器简介	(175)
第三节	用锁相技术控制的晶体管高频正弦 振荡器	(205)
第四节	振荡器的稳定问题	(222)
第五节	几种非正常振荡现象及其消除的一 些措施	(229)
	思考题和习题	(234)
第五章	非线性电路的分析方法	(235)
第一节	非线性元件的特性	(235)
第二节	非线性电路的特点	(240)
第三节	非线性电路的分析方法	(243)
	思考题和习题	(250)
第六章	高频功率放大器与倍频器	(252)
第一节	概述	(252)
第二节	谐振功率放大器的工作原理	(255)
第三节	功率晶体管的高频效应与安全工作区	(263)
第四节	高频功率放大器的馈电线路、输出回路 与级间耦合回路	(275)
第五节	宽带高频功率放大器	(288)
第六节	功率合成器	(291)

第七节	倍频器	(303)
第八节	高频功率晶体管的损坏原因与保护措施	(316)
第九节	谐振功率放大器的调谐与调整	(326)
	思考题和习题	(333)
第七章	变频器	(335)
第一节	变频器的作用、工作原理和要求	(335)
第二节	晶体管混频器	(346)
第三节	变频的干扰	(350)
第四节	平衡混频器和环形混频器	(359)
第五节	参量混频	(365)
第六节	变频电路实例	(370)
	思考题和习题	(376)
第八章	振幅调制及其解调	(378)
第一节	引言	(378)
第二节	调幅波的性质	(380)
第三节	调幅波的产生原理	(385)
第四节	调幅电路	(392)
第五节	检波器	(408)
第六节	小信号检波(平方律检波)	(413)
第七节	大信号检波(峰值包络检波)	(417)
第八节	二极管检波器元件参数的选择与电路举例	(427)
	思考题和习题	(432)
第九章	频率调制及其解调	(435)
第一节	调频波的性质	(435)
第二节	调频信号的产生	(440)

第三节	变容二极管调频电路.....	(444)
第四节	直接调频的其它方法.....	(452)
第五节	间接调频——从调相电路获得调频信号.....	(457)
第六节	调频信号的解调.....	(459)
第七节	振幅鉴频器与相位鉴频器.....	(461)
第八节	限幅器.....	(472)
第九节	比例鉴频器.....	(478)
第十节	振幅调制与角度调制系统的性能比较.....	(482)
	思考题和习题.....	(495)

绪 论

一、无线电信号传输原理

无线电技术的出现与发展，是建立在电磁学的理论与实践的坚实基础之上的。麦克斯韦于1864年发表了“电磁场的动力理论”著名论文，总结了前人的工作，得出了电磁场方程，从理论上证明了电磁波的存在。他指出，电磁波在自由空间的传播速度，以及折射、反射等特性与光波相同。麦克斯韦的这一发现，为人们在实践中证实电磁波的存在提供了依据，为后来的无线电发明和发展奠定了理论基础。

1887年赫兹以卓越的实验成就证实了电磁波是客观存在的。他在实验中证明：电磁波在自由空间的传播速度与光速相同并能产生反射、折射、驻波等与光波性质相同的现象。麦克斯韦理论得到了证实，从此之后，许多国家的科学家都努力研究如何利用电磁波传输信息，即无线电通信。其中著名的有英国的罗吉、法国的勃兰利、俄国的波波夫和意大利的马可尼等。波波夫和马可尼都在1895年分别用电磁波进行电报通信获得成功。

从发明无线电开始，传输信息就成了无线电技术的首要任务。高频电子电路所涉及的单元电路，都将从传输与处理信息这一基本点出发来进行研究。

1. 传输信号的基本方法

信息传输对人类生活的重要性是众所周知的。随着生产力

的发展，迫切地要求在远距离迅速而准确地传送信息。我国古代利用烽火传送边疆警报，这可以说是最古老的光通信。进入十九世纪以后，人们发现电能以光速沿导线传播，这为远距离快速通信提供了物质条件。1837年莫尔斯发明了电报，创造了莫尔斯电码。在这种代码系统中，用点、划、空的适当组合来代表字母和数字，这可以说是“数字通信”的雏型。1876年贝尔发明了电话，能够直接将声能(语言信号)转变为电能，沿导线传送。电报电话的发明，为迅速准确地传递信息提供了新手段，是通信技术的重大突破。

有线电报与有线电话发明之后不久，人们就发明了无线电。

在赫兹以前，人们认为电只能够沿导线传输。经过麦克斯韦的理论推导和赫兹的实验证明，电能也可以在空间传输，从而导致了无线电的发明。

一个导体如载有高频电流，就有电磁能向空间辐射，称为电磁波。高频率的电流称为载波电流，这种频率称为载波频率或射频。载有载波电流，使电磁能以电磁波形式向外发射的导体，称为发射天线。如果我们设法使电报或电话信号“加到”这种载波电流上，则电磁波中就含有所要发送的电报或电话信号，这就是无线电信号的发送过程。接收机处收到这电磁波后，首先由接收天线将这电磁波还原为与发送端相似的高频电流。然后，“取出”原来的电报或电话信号。利用载有信息(电报或电话)的电磁波，通过发射和接收，这就完成了无线电通信。下面我们略微详细地讨论这一问题。

2. 无线电信号的产生与发射

在无线电技术中采用振荡器来产生载波。振荡器可以看作是直流电能转变为交流电能的换能器。振荡器是无线电发送

设备的基本单元。为了发送电报信号，可以加一个电键来控制振荡器的直流电源，如图0-1-1(a)所示。电源接通后，振荡器发出高频电流 i ；电源断开时，振荡器没有高频电流送出。这样，就得到如图0-1-1(b)所示的高频电波，送至发射天线发射出去。这电磁波中就包含了所要传送的电报信号。

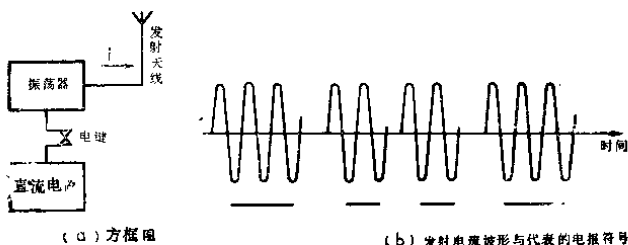


图0-1-1 无线电报发射机的基本原理图

实际上，为了提高振荡器的频率稳定性和增加输出功率，在振荡器之后往往还要加缓冲级与放大级，将发射功率提高到所需数值，再发射出去。电键一般也不是直接控制振荡器，而是控制振荡器以后的某一级。由于受控电流大，往往超过电键的载流能力，这时可用电键控制一个电流放大器（键控管），由这个键控管来控制发射机中某一级电流的通断。这样，就得到如图0-1-2所示的方框图。

在发射音频信号时，必须将音频信号“加在”载波上，这

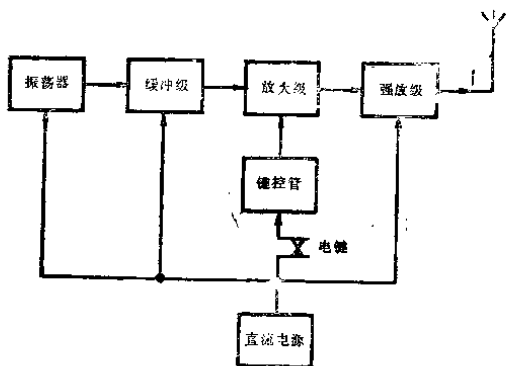


图0-1-2 振幅键控无线电报发射机方框图

一步称为调制。载波好像“交通工具”，载着音频信号向四方辐射。调制的方法大致分为两大类：连续波调制与脉冲波调制。

载波 $A\sin(\omega t + \varphi)$ 有三个参数可以改变，即：（1）振幅 A ；（2）频率 $\frac{\omega}{2\pi}$ ；（3）相角 φ 。利用音频信号（或其它待传送的信号）来改变这三个参数中的某一个，就是连续波调制。由此可知，连续波调制可以有三种方式：调幅、调频与调相。现简述如下：

①调幅：载波频率与相角不变，使载波的振幅 A 按照信号的变化规律而变化，例如图0-1-3(a)就是正弦调幅的波形图。高频振幅变化所形成的包络波形就是原信号的波形，见图0-1-3(b)。

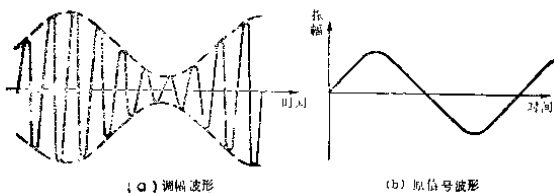


图0-1-3 弦调正波幅形

②调频：载波振幅不变，使载波的瞬时频率按照信号变化

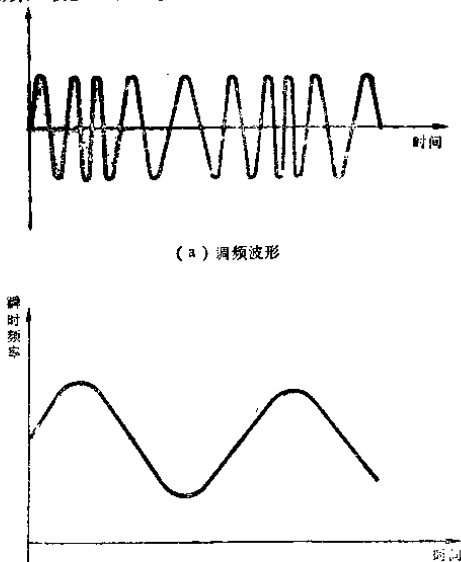


图0-1-4 正弦调频波形

规律而变化。这时瞬时频率的变化即反映了信号的变化。图0-4-1(a)表示正弦波调频的波形图,图0-4-1(b)则表示它的瞬时频率变化的波形。

③调相:载波振幅不变,使载波的瞬时相位按照信号的规律而变化。这时瞬时相位的变化即反映了信号的变化。通过以后的学习我们将知道,瞬时相位的变化总会引起瞬时频率的变化;并且任何相位变化的规律都有与之相对应的频率变化的规律。因此,从瞬时波形看,很难区分调相与调频。由于以上的原因,调频和调相有时统称为调角。当然,调频与调相还是有根本的区别的。这在后面的章节中将详细讨论。

另一大类调制是脉冲调制。这种调制要首先使脉冲本身的参数(脉冲振幅、脉冲宽度与脉冲位置等)按照信号的规律变化,亦即使脉冲本身先包含信号,然后再用这已调脉冲对载波进行调制。

以上简要地介绍了调制的主要形式。最后我们以调幅发射机为例,说明发射机的主要组成部分。

图0-1-5表示调幅发射机的方框图。一般它应包括三个组成部分:高频部分、音频部分与电源部分。由于电源对发射机的工作原理没有影响,故图中略去了这一部分。

高频部分一般包括主振、缓冲、倍频(不一定需要)、中间放大、功放推动与末级功放(被调放大)。主振器的作用是产生稳定的载波频率。为了提高频率稳定度,主振器往往采用石英晶体振荡器,并在它后面加有缓冲级,以使主振器不受以后各级的影响。如果载波频率较高,由于晶体频率不能太高,因而在缓冲级之后还应加一级或者干级倍频器,以使频率提高到所需的数值。倍频级之后还需加若干级放大器,以逐步提高输出功率,最后经过功放推动级将功率提高到能推动末级功放

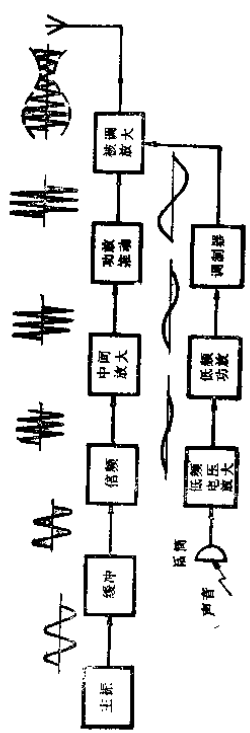


图0-1-6 调幅发射机方框图

的电平。末级功放则将输出功率提高到所需的发射功率电平，经过发射天线辐射出去。

低频部分包括话筒（或拾音器、录音带等）、低频电压放大级、低频功率放大级与末级低频功率放大级。低频信号通过逐级放大，在末级功放处获得所需的功率电平，以便对高频末级功率放大器进行调制。因此末级低频功率放大级也叫调制器，末级高频功率放大级则称为被调放大器。

为了形象地说明上述工作原理，在图0-1-5中绘出了各部分的波形图。

以上是以在末级进行调幅为例，说明发射机的方框图。由于调制是在高电平部分进行的，所以叫高电平调制。如果被调级是发射机的中间某一级，那末由于被调级功率电平低，所以叫低电平调制。此时被调级之后各级都是放大已调波形，称为已调波放大。这些问题都将在后续的章节中讨论。

3. 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。在接收处，先用接收天线将收到的电磁波转变为已调波电流，然后从这已调波电流中检出原始的信号。这一过程正好和调制过程相反，称为解调（解调调幅信号也叫检波）。最后，再用听筒或扬声器（喇叭）将经过检波的音频电流转变为声能，人就听到了发

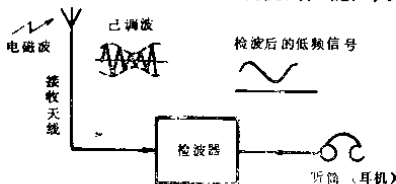


图0 1-6 最简单的接收机

射讯处原来的语言、音乐等信号。因此最简单的接收机就是一个检波器，如图0-1-6所示。

但是，接收天线所收到的电磁波很微弱，为了提高接收机的灵敏度，可在检波器之前加一级至几级高频小信号放大器，然后再检波。检波之后，再经过适当的低频放大，最后送到扬声器（或耳机）中转变为声音。这样就得到如图0-1-7所示的

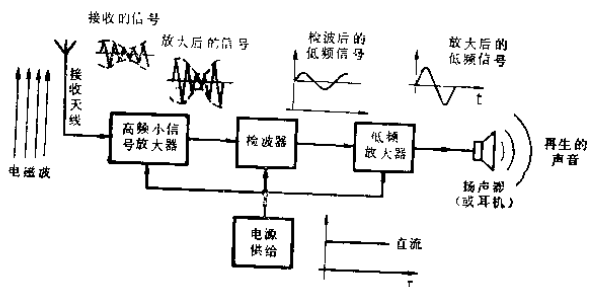


图0-1-7 直接放大式接收机方框图

接收机方框图，图中示出了相应各部分的波形图。这种接收机是将接收到的高频信号直接放大后再检波，因而称为直接放大式接收机。这种接收机的缺点是对于不同的频率，接收机的灵敏度（接收弱信号的能力）和选择性（区分不同电台的能力）变化较剧烈，而且灵敏度因为受到高频放大不稳定的影响，而不是很高。由于上述缺点，所以现在已很少使用这种接收机，现在的接收机几乎全是超外差式接收机。

图0-1-8是超外差接收机的方框图。从天线收到的微弱高频信号 e_1 先经过一级或几级高频小信号放大器（这部分可以省略不用）放大为 e_2 。然后送至混频器与本地振荡器所产生的振荡电压 e_3 相混合，所得到的输出电压 e_4 包络线形状不变，仍与

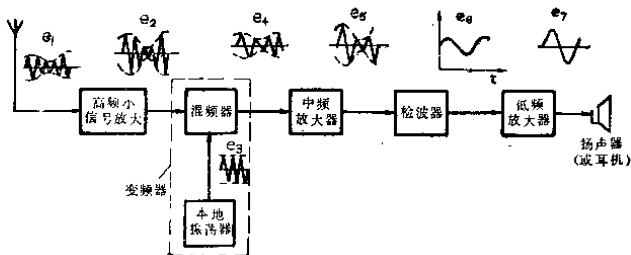


图0-1-8 超外差式接收机方框图

原来的信号波形相似，但载波频率则转换为 e_2 与 e_3 两个高频频率之差（或和），叫做中频。中频电压 e_4 再经中频放大器放大为 e_5 ，送入检波器，得检波输出电压 e_6 。最后 e_6 再经低频放大器放大为 e_7 ，送到扬声器（或耳机）转换为声音信号。

超外差式接收机的核心是混频器部分。混频器的作用是将接收到的不同载波频率转换为固定的中频。这种作用就是所谓的外差作用，这也就是超外差式接收机名称的由来。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。这就克服了直接放大式的缺点。混频器和本地振荡器往往合并为一个电路，这时就叫做变频器。

对于调频等其它调制形式的接收，同样也采用超外差式的原理，只是解调的方法有所不同。这些方法将在第九章学习。

二、无线电信号的传播

电磁波从发射天线辐射出去后，到达远方的接收机时，它的强度衰减甚多。这是因为，一方面发射电波的能量扩散开来，接收机处只能收到其中极小的一部分，另一方面电磁波在