

电子技术类职业教育丛书

4

# 模拟高频电子电路

林嘉锐 编



科学技术文献出版社

中国电子学会普及工作部  
北京市职业教育研究会 组编

电子技术类职业教育丛书之四

# 模拟高频电子电路

林嘉锐 编

科学技术文献出版社

1986

电子技术类职业教育丛书之四

**模拟高频电子电路**

林嘉锐 编

科学技术文献出版社出版

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

787×1092毫米 16开本 印张：18.75 字数：476千字

1986年11月北京第一版第一次印刷

印数：1—10,000册

科技新书目：126—45

统一书号：15176·702 定价：3.90元

## 电子技术类职业教育丛书编委会

主任委员：边 拱

副主任委员：邵绪朱 施绍祺

委 员：白玉贤 时雅卿

杨光起 于洪波

左万昌 余国森

张秀英 宁云鹤

宋广陵 张道远

刘学达

# 前 言

为适应我国职业技术教育迅速发展的迫切需要，使教育更好地为四化建设服务，中国电子学会普及工作部和北京市职业教育研究会共同组织编写出版这套《电子技术类职业教育丛书》。

丛书包括：无线电数学、无线电电工基础、模拟低频电子电路、模拟高频电子电路、数字电路基础、盒式收录机原理与电路解说、黑白彩色电视机原理与电路解说(上、下册)、微型计算机原理和应用、家用录象机原理与电路解说，共十册。

这套丛书是参照电子技术类职业教育的教学计划和大纲编写的。它包括了电子技术专业的基础课、技术基础课和专业课，具有较强的系统性，每册内容又具有一定的独立性。丛书可作为职业教育参考教材，也可供具有中等文化程度的电子技术爱好者自学时选用。

在编写丛书过程中，编者注意到理论与实践密切结合，用具体应用实例来加深对理论概念的理解；以阐明分析问题的步骤和思路为线索突出物理概念，并有一定的理论分析以加深理解；在文字上力求深入浅出和通俗易懂。每章后面一般都有一定数量的习题，帮助读者巩固所学的内容。书后还附有习题解答或提示，以便于自我检查。

本套丛书部分内容曾作为中国电子学会举办的“全国电子技术自修班”教材使用过，充分听取了广大学员对本书的意见。对书中的遗误进行了必要的修改；对其中有些内容也作了适当的调整和增删。

中国电子学会普及工作部和北京市职业教育研究会的有关领导，对丛书的出版给予了大力支持，并直接组织指导了全套丛书的选题、编写、定稿和印刷出版等事宜；有关工作人员和编者也为全套丛书尽早与读者见面做出了很大的努力。尽管如此，在较短的时间里，组织出版这样一套职业教育系列丛书，我们还是第一次尝试。书中的错误与不当之处在所难免，尤其是这套丛书是否能满足职业技术教育的要求，更有待于广大读者通过学习实践提出宝贵意见，以便于在此基础上编出更适合我国职业教育的丛书。

最后，我们还应向为这套丛书及时出版而付出辛勤劳动的出版、印刷等部门，以及所有参与此项工作的同志表示衷心的感谢。

丛书编辑委员会

一九八六年四月 于北京

## 编 者 的 话

《模拟高频电子电路》是为读者学习高频电路编写的一本自学读物。本书初稿曾在中国电子学会普及工作部主办的“电子技术自修班”(第一、二期)上作为内部教材试用过(原名《高频电子电路》)。

本书内容包括了广播收音机和电视接收机中有关高频电子电路的基本概念、理论和典型电路。这些内容是高频电路理论中最基本的问题。读者掌握了书中讲述的知识,就为进一步学习高频电路的其它问题以及广播电视接收技术打下初步基础。

在编写过程中,作者力求讲清物理概念,阐明分析问题的思路和方法,并注意到帮助读者建立必要的数量概念。在叙述方法上尽量做到便于读者自学。

编写本书时,主要参考了清华大学通信教研组编写的《高频电路》与南京工学院无线电工程系编写的《电子线路》等书。由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者不吝指正。

此书原稿曾经北京工业学院段玉平和北京广播学院黄毓龙两位老师审阅,特致谢意。

编 者

1986年4月于北京

# 目 录

第一章 绪 论	1
1-1 无线电技术的发展与应用	1
1-2 无线电信号的初步概念	2
1-3 电磁波	4
1-4 调制与调幅信号简介	6
1-5 信号及其基本特性	8
1-6 广播、电视发送的方框图	15
1-7 接收无线电广播的主要过程	16
1-8 无线电波波段的划分	18
1-9 无线电波的传播	19
1-10 外部干扰	21
第二章 电路元件的高频特性	24
2-1 引 言	24
2-2 电感线圈的电感量与高频特性	25
2-3 电容器的电容量与高频特性	28
2-4 屏 蔽	31
第三章 简单谐振回路	35
3-1 引 言	35
3-2 串联谐振回路	35
3-3 并联谐振回路	43
3-4 通用谐振曲线	50
3-5 谐振回路的通频带	53
3-6 谐振回路的选择性	54
3-7 信号源内阻及负载对谐振回路的影响	56
3-8 并联谐振回路的耦合形式及其接入系数	59
第四章 晶体管的共发射极等效电路	67
4-1 晶体管等效电路的概念和类型	67
4-2 PN结(晶体二极管)的等效电路	69
4-3 晶体管的共发射极混合 $\pi$ 型等效电路	71
4-4 晶体管的电流放大系数	75
4-5 晶体管的频率参数 $f_{\beta}$ 、 $f_T$ 和 $f_{\alpha}$	78
4-6 晶体管的Y参数等效电路	82
4-7 两种等效电路的比较	88
第五章 小信号单调谐放大电路	90

5-1	引言	90
5-2	小信号单调谐放大电路的工作原理	91
5-3	单调谐放大器的等效电路	93
5-4	谐振频率、品质因数与谐振电阻	94
5-5	单调谐放大电路谐振时的增益	95
5-6	单调谐放大电路的通频带和选择性	101
5-7	多级单调谐放大器的级联	103
5-8	调谐放大器的稳定性问题	106
<b>第六章</b>	<b>双谐振耦合回路与双调谐放大器</b>	<b>114</b>
6-1	引言	114
6-2	电容耦合双谐振回路	115
6-3	互感耦合双谐振回路	121
6-4	耦合电路的反映阻抗	123
6-5	双调谐放大器	127
<b>第七章</b>	<b>共发射极阻容耦合宽频带放大电路</b>	<b>134</b>
7-1	引言	134
7-2	RC电路的频率特性	135
7-3	共射阻容放大器的基本电路	139
7-4	负载为纯电阻时阻容放大电路分析	141
7-5	负载为容性时阻容放大电路的分析	145
7-6	扩展放大器通频带的电路	147
<b>第八章</b>	<b>LC正弦波振荡电路</b>	<b>157</b>
8-1	概述	157
8-2	自激振荡电路的基本工作原理	158
8-3	自激振荡的起振与稳幅过程	161
8-4	变压器耦合反馈式振荡电路	164
8-5	三点式振荡电路	170
8-6	振荡器的频率稳定问题	177
8-7	改进型电容三点式振荡电路	182
<b>第九章</b>	<b>振幅调制与检波</b>	<b>186</b>
9-1	非线性器件的频率变换作用	186
9-2	调幅波的性质	189
9-3	产生调幅波的电路	193
9-4	检波器概述	197
9-5	二极管检波电路工作的物理过程	201
9-6	大信号(峰值)检波器	203
9-7	小信号(平方律)检波器	209
9-8	中等信号检波	212
9-9	并联二极管检波电路	213



9-10	检波器输入阻抗对前级电路的影响 .....	213
9-11	二极管检波器的实际电路举例及元件参数的选择 .....	214
<b>第十章</b>	<b>调频与鉴频 .....</b>	<b>218</b>
10-1	调频信号的性质 .....	218
10-2	调频信号的产生 .....	228
10-3	调频信号的解调——鉴频 .....	230
10-4	斜率鉴频器 .....	232
10-5	相位鉴频器 .....	234
10-6	限幅器 .....	238
10-7	比例鉴频器 .....	241
10-8	调频制与调幅制性能比较 .....	244
<b>第十一章</b>	<b>变频 .....</b>	<b>250</b>
11-1	概 述 .....	250
11-2	实现变频的方法 .....	253
11-3	变频跨导的概念 .....	254
11-4	三极管变频增益 .....	257
11-5	三极管变频器的实际电路 .....	259
11-6	设计变频器的一些考虑 .....	262
11-7	变频器的组合频率及干扰 .....	263
11-8	谐振放大器和变频器中的非线性失真 .....	266
<b>第十二章</b>	<b>内部噪声 .....</b>	<b>272</b>
12-1	概 述 .....	272
12-2	起伏噪声 .....	273
12-3	晶体三极管的噪声 .....	277
12-4	噪声系数 .....	278
12-5	无源四端网络的噪声系数 .....	281
12-6	晶体管与放大器的噪声系数 .....	286

# 第一章 绪 论

## 目的和重点内容

本章简单扼要地介绍了无线电技术的大体轮廓，目的是使大家在开始学习高频电路时对本课程的主要内容以及与本课程内容紧密相关的问题有所了解，以便初步建立以后各章内容之间的联系和无线电技术的整体概念。

本章的重点内容是无线电信号的频谱特性和收音机的组成部分及各部分的功能。

## 1-1 无线电技术的发展与应用

十九世纪时，资本主义经济已经发展到一定水平，商品生产和交换迫切要求更有效地解决远距离通信联络的问题，传统的通信工具渐渐不能满足这种需要。社会生产的发展，向通信技术提出了新的要求，而当时的科学和生产水平，也为通信技术的变革提供了条件。

无线电通信是在逐渐发展的电路理论和电磁场理论的基础上得以实现的。1831年英国的法拉弟发现电磁感应定律，1873年英国的麦克斯韦提出电磁场理论，1888年德国的赫芝用实验证明电磁波的存在。所有这一切，都为发明无线电通信奠定了重要的基础。1895年意大利的马可尼和俄国的波波夫终于发明了无线电通信装置，从而开辟了无线电技术这一新的领域。近百年来，无线电和电子学的发展紧密地交织在一起，互相促进。无线电技术发展的特点是：首先，所应用的振荡频率不断增高，传送的信号频率范围不断加宽；其次，采用的电子元件和器件不断更新，由普通的电子管扩展到半导体器件和集成电路，以及其它各种新型元器件；第三，近代无线电技术的任务已经远远越出通信的范围，而与各门科学技术的发展紧密地联系在一起了，成为各门学科发展的重要工具。

无线电技术从诞生到现在近百年的历史，证明了它对人类的生产和社会生活发挥了非常深刻的作用和极为广泛的影响。目前很难确切说明它的应用范围。但在学习无线电技术的基本理论以前，概略地了解一下无线电技术在一些主要方面的应用，无疑是有帮助的。

无线电报是传送电报信号的。无线电发报机工作时，向空间发射一组组包含长短信号的电波。无线电收报机接收这些信号，并在纸条上画出了点和划；一组组的点和划代表一定的数字或字母，它们组成了单词和句子。

与无线电报不同，无线电话与无线电广播传送的不是电码而是声音。在发送端将欲传送的语言变成电信号，并用无线电波将它载运到远方去。在接收的地方，接收机再把原来的电信号重现出来，并将它还原成为语言。大家都熟悉的无线电广播，其原理和无线电话是类似的。

无线电传真和电视可以用来传送图象。无线电传真是传送照片、文件等固定图象的，而电视则传送现场的活动景象。由于画面上各部分的明暗不等而造成反射光线的的能力也不同，就可以将画面的明亮部分和暗黑部分分别转变成为一个接一个的电信号，然后用无线电波传出去。电信号在接收站(机)中又还原成为按一定规律排列并作强弱变化的光，显映在感光

纸上(传真)或荧光屏上(电视)。电视还可以用来观察远距离或人们不可能到达的地方的景象,在工业、医疗、教育和国防等方面已逐渐得到广泛的应用。

无线电定位是利用无线电波的反射来测定天空中、水面上或陆地上各种目标的位置和运动特性的技术。它在军事上获得广泛应用,成为现代国防中不可缺少的一种技术。

无线电导航是利用定位设备和其它电子设备,引导飞机在复杂气象条件下安全飞行和着陆,或帮助舰船在大雾迷漫的情况下航行和靠岸的技术。如果装设有自动导航设备,无人驾驶的飞行器(例如火箭)还可以按照预定的航线,准确地飞达目的地。

利用无线电设备可发出超声波。超声波能在水中顺利地传播,因此可以测量海底的深度,探测鱼群、暗礁的位置,绘制深海地图等。在国防上超声波用作水中通信和水中目标的探测,并且还用来操纵水中武器。在这方面,目前已经发展成为一门与国防密切有关的科学,称为水声学。

无线电技术与天文学结合,形成了无线电天文学。它通过分析天体所发射的电磁波来研究宇宙。用无线电望远镜观测天体,可不受气候等条件的限制,因而在很大的程度上弥补了光学望远镜的不足,从而有可能为天文学、天体化学等学科中解决许多悬而未决的问题。

无线电气象学是应用无线电技术来研究地球表面大气中复杂气象过程的科学。人们根据无线电气象学知识可以准确地测定台风的发生及其经过的地点、预测大雨的来临等。无疑地,这对于国民经济具有重大的意义。

无线电遥测是利用无线电来测量远处各种物理量的技术;无线电遥控是指人们发出某些信号去控制远处某种机件的动作的技术。前面谈到的定位、导航、水声等技术,都和遥测遥控有密切关系。此外,利用遥测遥控技术,还可以使生产达到不同程度的自动化,可以控制宇宙飞船的航行,原子能的研究和利用,也必须应用遥测遥控技术。

电子计算机是近代无线电技术发展的一大成就。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。电子计算机技术不仅运用在气象学、宇宙航行、导航、自动控制等方面,同时还推动了各门学科的理论发展。未来的信息社会,离开电子计算机将是不可想象的。

上述无线电技术的各种应用,都属于各种性质的消息的传送。而无线电技术在工业上的另外许多应用,却并不传送什么消息,不发射也不接收无线电信号。如高频加热就是这方面的一个重要例子。这里,无线电电子设备所产生的高频能量,可以转变成为各种生产部门需用的热能。此外,无线电技术也已经在医疗上和农业上得到了日益广泛的应用。

总之,近年来,无线电技术正在科学技术的各个领域里、国民经济的各个部门中以及文化教育事业的许多方面,迅速地扩大着应用范围,同时,在国防建设上,也越来越显示出它的重要性。上面的简单介绍,当然难免挂一漏万,但已足以说明,无线电技术这门科学在国民经济各个领域的发展前途,的确是不可限量的。

## 1-2 无线电信号的初步概念

无线电通信的任务是利用电磁波将各种电信号由发送端传送给接收端,以达到传递消息的目的。

无线电广播(即声音广播,简称广播)或电视广播(简称电视)的任务,是将携带有声音或图象消息的电信号,用电磁波的形式从电台传送给远方的广大听众或观众。

这里首先遇到两个问题:一是什么叫电信号,人们怎样把声音或图象转变成能够代表它们的电信号?二是什么叫电磁波,人们又如何利用电磁波将电信号传到远方?本节先介绍一下电信号的初步概念,下一节再讨论电磁波。

我们知道,人耳能听到的声音的频率约在20赫到20千赫的范围内,通常把这一频率范围叫做音频。声波在空气中传播的速度比起光波来说是很慢的,约340米/秒,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,常用的方法是将它变成电信号,再设法把电信号传出去。将声音变为电信号的任务一般由话筒来承担。当播音员对着话筒说话时,话筒就输出相应的电压或电流,电压或电流的变化规律与声音的变化规律相同,如图1-1所示。

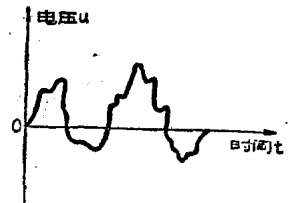


图1-1 声音信号的波形

类似的道理,一个反映景物的图象,能够直接看到它的距离就更短了。要想传送一幅图象到很远的地方,也只能将它先变换成电信号然后再设法传出去。将图象变为电信号的任务一般由摄像机关来承担。摄像机关对准播音员或现场活动景象时,就输出相应的电压或电流,它们的变化规律与图象的变化规律相同,如图1-2所示。根据我国电视制式规定,图象信号的频率范围为0~6兆赫。

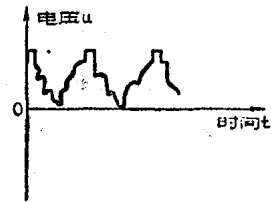


图1-2 电视信号的波形

我们将能代表某种消息(如声音、图象等)的电压或电流称为电信号,也称原始信号。性质不同的原始信号又有不同的名称。例如,声音信号可以叫做音频信号,由于它频率较低,往往又把它叫做低频信号;电视里的原始信号,我们把它叫做图象信号,习惯上也把它叫做视频信号,以便与音频信号相区别。

从话筒得到的电信号的强度一般都很小,通常只有几毫伏,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出去,再经喇叭恢复为原来的声音。这就是扩音系统或有线广播系统的基本原理。扩音系统方框图,如图1-3所示。

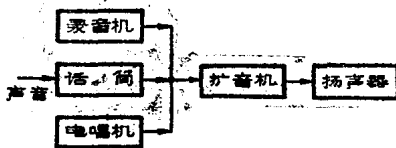


图1-3 扩音系统方框图

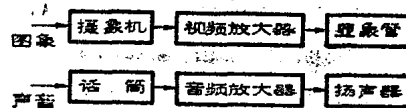


图1-4 有线电视系统方框图

类似的道理,从摄像管得到的电信号强度也是很小的,通常只有几微安的电流,可用视频放大器放大后,再利用电缆传送,最后经过显象管恢复为原来的图象。它的声音(伴音)的传送过程与扩音系统一样。这就是有线电视或称闭路电视系统,其方框图如图1-4所示。

通过上面的介绍可知,有线广播、电视系统就是在传送声音或图象的过程中,先利用一种声—电或光—电转换设备,把消息转变成为作相应变化的电压或电流(即原始信号),经过导线传送到接收地点后,再利用一种相反的转换设备(电—声或电—光转换),把它还原成原来

的消息(声音或图象)。所以,在广播、电视系统中,传输的对象是代表消息的信号。虽然信号在传输时,必然伴随着能量的传输,但是广播电视的最终目的,仍是获得原来的消息,而电信号则是为达到该目的所采用的一种手段。

## 1-3 电 磁 波

上一节谈到的有线广播和有线电视系统传输电信号的距离和范围总是有限的,而且敷设电线或电缆成本昂贵,更谈不上实现全球性的广播。为了能将携带有消息的电信号传播到祖国各地和世界的每一角落,就必须采用能在空间传播的电磁波方式进行无线电广播和电视广播。

那么,电磁波是什么呢?它是怎样产生的?有些什么性质以及怎样利用它来传递各种信号呢?我们先从电磁波的产生谈起。

### 一、电磁波是由电磁振荡产生的

大家知道,大小和方向都作周期性变化的电流叫做振荡电流,能够产生振荡电流的电路称为振荡电路。例如由电感线圈和电容器组成的电路,就是一种简单的振荡电路,又称为LC振荡回路或LC谐振回路。

在振荡电路产生振荡电流的过程中,电容器极板上的电荷,也作周期性变化。与此同时,跟电流相联系的磁场和跟电荷相联系的电场也都周期性地变化。这种电、磁场的变化现象称为电磁振荡。

如果在电磁振荡过程中,没有任何能量的损失,振荡应该永远持续下去,电路中振荡电流的振幅应该永远保持不变。这种振荡叫做无阻尼振荡或等幅振荡。

电磁振荡完成一次周期性变化需要的时间叫做周期,记作 $T$ 。一秒钟内完成周期性变化的次数称为频率,记作 $f$ (振荡电路里发生无阻尼振荡的频率,称为振荡电路的自然频率)。

至于电磁振荡能够产生电磁波这一事实,人们并不是了解到电磁振荡之后就马上发现的,也不是先从实验观察到电磁波后才认识的。十九世纪六十年代,英国物理学家麦克斯韦在总结前人研究电磁现象成果的基础上,从数学上建立了完整的电磁理论,使得人们对电磁现象有了一个全面深入的认识。电磁波就是这一理论的科学预见。而在二十多年之后,赫芝才第一次用实验证实了电磁波的存在。

麦克斯韦的电磁理论指出:任何变化的电场都要在周围空间产生磁场,振荡电场会在周围空间产生同样频率的振荡磁场;任何变化的磁场都要在周围空间产生电场,振荡磁场也会在周围空间产生同样频率的振荡电场。可见,变化的电场和变化的磁场总是相互联系着的,形成一个不可分离的统一体,这就是交变电磁场。

显而易见,如果空间某处产生了振荡电场,在周围空间就要产生振荡磁场,这个振荡磁场又要在较远的空间产生新的振荡电场,接着又要在更远的空间产生新的振荡磁场……这样,交替产生的振荡的电场和磁场,即电磁场波及的空间越来越大。这就是说,电磁场并不局限于空间某个区域,而是要由发生的区域向周围空间传播开去,如图

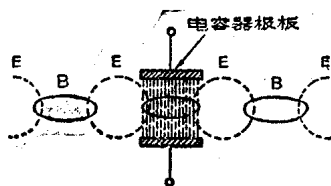


图1-5 电磁波形成的示意图

1-5 所示。图中分别用虚线和实线表示电场E和磁场B。这种向空间传播的交变电磁场，就形成了电磁波。

综上所述，麦克斯韦电磁理论证明，只要空间某个区域有振荡的电场或磁场，就会产生电磁波。振荡电路在发生电磁振荡时，电容器里的电场和线圈周围的磁场都在振荡着，因此，振荡电路就有可能产生电磁波。

## 二、电磁波的特性

麦克斯韦的电磁理论不但预见到电磁波的存在，而且还指出，在电磁波中，每一点的电场强度  $\dot{E}$  与磁感应强度  $\dot{B}$  的方向总是互相垂直的，并且还都与那里的电磁波的传播方向垂直。这就是说，电磁波传播的方向跟电场和磁场构成的平面垂直。图1-6是电磁波传播的示意图。图中  $v$  是电磁波传播的方向。

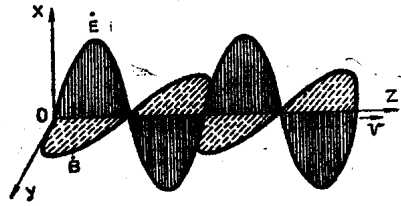


图1-6 电磁波传播示意图

麦克斯韦还从理论研究发现，在真空中电磁波的传播速度与实验测得的光速相等。这个论断后来得到实验的证实。因此，任何形式的电磁波在真空（或在空气）中的传播速度  $c$  都是

$$c = 3 \times 10^8 \text{ 米/秒} \quad (1-1)$$

电磁波在一个振荡周期  $T$  内传播的距离叫做波长，记作  $\lambda$ （读作“兰姆它”，其中“·”表示重读，以下同）。它等于电磁波传播速度  $c$  乘以电磁振荡完成一次循环所需要的时间  $T$ （即周期），用公式表示为

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

这是电磁振荡的一个基本关系式。知道了电磁振荡的频率  $f$ ，利用上式就可以算出波长  $\lambda$ 。如果  $c$  的单位是“米/秒”， $f$  的单位是“赫芝”，则  $\lambda$  的单位是“米”。例如，频率为20千赫的电磁振荡，它的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^3} = 1.5 \times 10^4 \text{ 米}$$

相当于15公里长。又如某短波广播电台发射频率为15.55兆赫的电磁波，它的波长

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{15.55 \times 10^6} = 19.3 \text{ 米}$$

可见，由于各种电磁波在真空（或空气）中的传播速度都是  $3 \times 10^8$  米/秒，频率不同的电磁波在真空（或空气）中的波长也不同。

电磁波的另一重要性质是它具有能量。电磁波向空间传播时，它的能量也一起向四面八方传递。因此，振荡电路产生电磁波的过程，同时也是向外辐射能量的过程。在传播的过程中，电磁波所具有的能量要逐渐衰减，不过它在绝缘介质（如空气）中衰减得很慢，因而能传播到很远的地方。这是声波传播所望尘莫及的。

## 三、电磁波的发射

由普通的电容器和线圈组成的振荡电路（图1-7(a)），虽然能产生电磁振荡，但事实上它向

外辐射能量的本领是很差的。这是因为这种振荡电路，电场能量几乎完全在电容器两极板之间，磁场能量也大多集中在线圈内。在振荡过程中，电场能量和磁场能量主要是在电路内互相转换，辐射出去的能量极少。

为了使振荡电路有效地向空间辐射能量，也就是能很好地发射电磁波，必须尽可能使电场和磁场分散开。如果把电路改成图1-7(b)那样，辐射能量的本领会好些；如果再改成图1-7(c)，辐射能量的能力就更强了。在实际应用时，把线圈下端用导线接地，这条导线叫做地线，把线圈上端接到比较长的导线上，这条导线叫做天线。天线和地线（以及大地）形成了一个敞开的电容器，从而使电场分布在天线周围的整个空间。

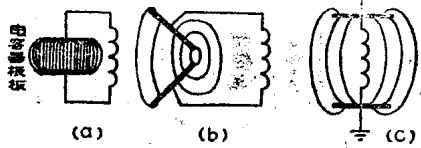


图1-7 能发射电磁波的振荡回路形式的变换

对于电磁波发射的进一步研究表明，天线的尺寸必须足够长，才能使电磁波有效地发射。具体地说，天线长度只有在和电磁振荡的波长可比拟时，才能有效地将电磁振荡的能量辐射出去。前面讲过，声音信号的频率为20至20000赫，其波长范围是 $1.5 \times 10^4$ 至 $1.5 \times 10^7$ 米，要制造出与此尺寸相当的天线是不可能的。所以无法直接将音频电信号辐射到空间去；即使辐射出去，各个电台所发出的信号都是在同一频率范围，它们在空中混在一起，接收者也无法选择所要接收的某一信号。要想不用导线传播声音信号，就必须利用频率更高（即波长更短）的电磁振荡，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，天线尺寸就可以比较短，不同广播电台也可以采用不同的高频振荡频率，彼此互不干扰。将音频“装载”在高频振荡之中的过程，就是所谓“调制”。

## 1-4 调制与调幅信号简介

关于调制的有关理论和电路，我们将在第九、十章中详细讨论。本节只初步介绍调制的作用和调幅信号的特点，使大家对广播、电视整个系统有所了解，同时也便于后面章节内容的讨论。

### 一、调制的概念

上面谈到，由于代表声音或图象消息的电信号都包含有很低的频率，若把它们直接送上天线（不可能很长），不但不能有效地发射，而且也无法区分各电台发射的不同内容的节目，为此必须采用调制的方法解决。

用原始电信号（音频或视频信号等）去控制等幅高频振荡的过程，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。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振荡或已调波。由于它们的频率很高，就可能用长度较短的天线，以电磁波的形式发射到空间去。由此可见，等幅的高频振荡，在这里实际上起着运载音（视）频信号的运输工具作用，在无线电技术中常称它为载波。载波的频率称为载频或射频，其频率一般在几百千赫以上。音（视）频信号则起着控制高频振荡的作用，所以也称为调制信号。调制信号（即原始信号）和已调信号（即已调波）统称为电信号，或者就简称为信号。

## 二、调幅信号的数学表示式及波形

我们先来研究一个最简单而又足以说明无线电信号基本特性的调幅波。

设未经调制的等幅高频振荡(载波)用下列正弦函数表示:

$$u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t \quad (1-3)$$

式中将正弦函数写成余弦形式,是由于余弦函数与正弦函数只差一固定的 $\frac{\pi}{2}$ (90°)角度,在理论分析中常不加区分。式中 $u_c(t)$ 表示随时间 $t$ 变化的高频振荡瞬时值; $U_{cm}$ 是它的振幅,是不随时间变化的固定值; $\omega_c$ 是载波的角频率;这里为简单起见,假设其初相位等于0。这一载波的波形如图1-8(a)所示。

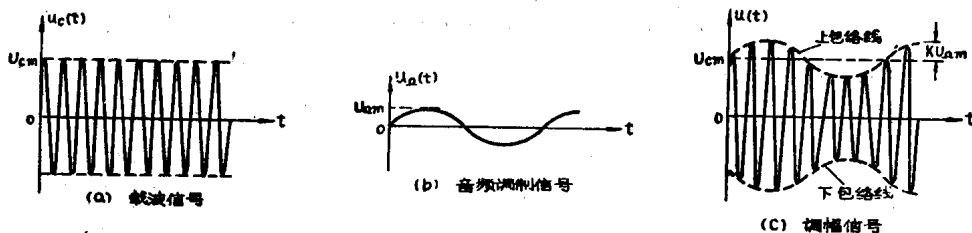


图1-8 调幅波的波形。

为了说明问题方便起见,先假定调制信号也是一个正弦波,它的表示式是:

$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (1-4)$$

这里 $u_{\Omega}(t)$ 表示调制信号的瞬时值, $U_{\Omega m}$ 是调制信号的振幅, $\Omega$ 是调制信号的角频率( $\Omega$ 读作“欧米嘎”),也假设其初相位等于0。其波形如图1-8(b)所示。

经过调幅后,高频振荡的振幅就随着调制信号的规律而变化。说得详细一点,就是当调制信号的瞬时值 $u_{\Omega} = 0$ 时,高频振荡的振幅保持为原来的数值 $U_{cm}$ ;当 $u_{\Omega}$ 增大时, $U_{cm}$ 也增大;当 $u_{\Omega}$ 减小时, $U_{cm}$ 也减小。这样,高频振荡的振幅可以写成

$$U_{cm} + k u_{\Omega} = U_{cm} + k U_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (1-5)$$

其中 $k$ 是比例常数,它一般是不大于1的常数,反映了高频振荡的振幅与调制信号 $u_{\Omega}$ 变化规律成正比例变化。显然,振幅变化的高频振荡就是调幅波,它的表示式是:

$$u(t) = (U_{cm} + k U_{\Omega m} \cos \Omega t) \cdot \cos \omega_c t \quad (1-6)$$

其波形如图1-8(c)所示。图中将高频振荡各个最大点用虚线描出,称为调幅波的“包络线”。如果包络线的变化规律和调制信号完全相同,则调幅信号就没有失真。

上面谈的是调制信号为一个简单正弦波的情况。当调制信号是由许多不同频率组成的原始信号(如声音信号或图象信号)时,根据同样的道理,调幅波的振幅也要随着原始信号的规律而变化,从而就“携带”了原始信号所代表的消息。由于调幅信号是一种高频振荡,它能有效地从天线发射出去,并且不同载波频率的信号也易于在接收端区别开来了。

我国目前中、短波声音广播和电视广播中图象部分的调制方式都采用调幅制。多数的通信系统和雷达设备也都用调幅制。



## 1-5 信号及其基本特性

在通信与广播中,传输的主体或者说传输的对象就是信号,各种电路、设备则是实施这种传输而对信号进行各种处理的手段。我们要求信号在传输的整个过程中尽量做到不失真,并在接收处已调波信号还应具有一定的信号强度,才能满意地接收。这些要求能够满足到什么程度,取决于信号本身的特性和由各种电路组成的设备的特性。因此,要想对各种电路进行分析,首先要对信号的特性有一定的了解。事实上,无线电技术发展的过程,在一定程度上正是由于信号日益复杂,从而促使无线电设备和系统的元器件、电路和结构日益完善的过程。这就是为什么必须讨论信号特性的原因。

原始信号是由消息转变而来并与消息相对应的电信号。语言、音乐、图象、文字和数据等消息,最终形式大多是用随时间变化的电压或电流表现出来。所以,要传输的信号是多种多样的,它们常具有较复杂的波形,而不是简单的正弦波。这就是说,信号电压或电流常常是一个复杂的时间函数,一般只能近似地用数学式子来表示。当信号能表示为一确定的时间函数时,给定某一时间值,就可以确定一相应的函数值,这样的信号是确定性信号,又称规则信号;另外一类信号往往具有不可预知的不确定性,是一种随机性信号,又称不规则信号。随机性信号不是一个确定的时间函数,当给定某一时间值时,其函数值并不确定,通常只知道它取某一数值的可能性(即概率),例如干扰与噪声,就是一种随机性信号。

确定性信号又分为周期性与非周期性信号两类。周期性信号一般是指在比较长的时间内重复着某一变化规律的确定性信号,例如,声音、图象的信号以及它们的已调信号就都可以近似地认为是周期性信号。而单个脉冲信号则属于非周期信号。实际上,当周期性脉冲信号的周期足够大时,由于在后一个脉冲到来之前,前一个脉冲对电路的作用已基本消失,这样的周期性信号也应作为单脉冲的非周期性信号来处理。

本节将讨论的只是周期性信号的一些基本特性,特别是它的频谱特性。随机性信号的基本特性将在本书最后一章讨论。至于非周期性信号的研究,已超出本书规定的范围。

信号的基本特性包括信号的时间特性、频谱特性、功率特性和信息量等。

### 一、信号的时间特性

信号的特性首先表现为时间特性。任何确定性的信号,都表现为电压和电流等各量是时间的函数,将它们画成图形,就得到以时间 $t$ 为横坐标,电压或电流瞬时值为纵坐标的波形图,这是我们所熟悉的。

信号的时间特性,主要是指信号随时间变化快慢的特性。变化的快慢,一方面的意义是同一形状的波形重复出现的周期短或长,即频率的高或低;对于非正弦波的信号来说,还有另一方面的意义,即在一个周期内信号变化的速率。图1-9表示一个周期性的脉冲信号,这个信号对时间变化的快慢,一方面由它的重复周期 $T$ 表现出来,另一方面由脉冲的持续时间 $\tau$ 。 $(\tau$ 读作“掏”)以及脉冲上升和下降边沿陡直的程度表现出来。

信号的时间特性要求传输该信号的电路的时间特性与之相适应。各种传输电路都有自己的时间常数,时间常数是由电路

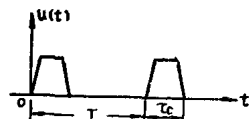


图1-9 周期性脉冲信号波形