

全国家用电器维修培训教材

高频电路原理

林嘉锐 编

电子工业出版社

全国家用电器维修培训教材·7

高频电路原理

林嘉锐 编

电子工业出版社

(京)新登字055号

内 容 提 要

本书是全国家用电器维修人员培训教材之一，是为了适应全国各地培训家用电器维修人员的需要而编写的一本专业基础教材。本书主要内容有：无线电广播、电视的发送和接收的基本概念；电路元件的高频特性；晶体管的高频等效电路，小信号调谐放大电路，宽频带放大电路，正弦波振荡电路，振幅检波，调频与鉴频，变频等，每章后有复习思考题。

本书以定性分析为主，突出物理概念，叙述简明扼要，通俗易懂，适合于具有初中以上文化程度，本书可作为家用电器维修培训班和军地两用人材培训的教材，并可作从事或准备从事家用电器维修工作人员的自学用书和广大电子爱好者参考。

全国家用电器维修培训教材 7

高频电路原理

林嘉锐 编

责任编辑 王昌喜

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市海淀区云峰印刷厂印刷(北安河乡寨口村)

★

开本：787×1092毫米 1/32 印张：8.5 字数：200千字

1987年10月第一版 1996年3月第4次印刷

印数：85001—110000册 定价：10.00元

书号：ISBN7-5053-0101-2/TN·62

《全国家用电器维修培训教材》编委会

主 编 沈成衡

副主编 王明臣 宁云鹤

编 委 高坦弟 陈 忠 刘学达

段玉平 左万昌 赵文续

张道远 李 军

出版说明

自1986年初中央五部委发出《关于组织家用电器维修人员培训的通知》以来,在各地有关部门的大力支持下,家用电器维修培训工作在全国蓬勃开展起来,并取得了可喜的成果。

为了使家用电器维修培训工作更加系统化、正规化,1987年4月,中国科协、商业部、国家工商行政管理局、劳动人事部、电子工业部、总政宣传部、中国电子学会联合召开“全国家电维修培训工作会议”。会议上,各部委一致指出此项工作的重要意义,同时要求对现行教材进行修改,并编写基础与专业基础教材。遵照此会议精神,全国家电协调指导小组办公室按照统一教学计划的要求,组织有一定理论知识和维修实践经验的作者,编写了较为完整的家电维修培训教材,并由科学出版社、电子工业出版社、科学普及出版社、解放军出版社、宇航出版社共同出版。

随着家电维修培训工作的深入开展,应家电维修培训班师生及社会各界读者的要求,全国家电维修培训协调指导小组办公室在完成全套教材的出版工作之后,又陆续组织出版了家电维修培训补充读物。迄今为止,已出版二十余种,有:《家用电器维修经验》、《简明英汉家用电器词汇》、《日常家用电器维修、自检、难题详解》、《怎样实现电视调频远距离接收》、《电冰箱、冷藏柜、空调器、电动机维修技术和修理经

验》、《最新进口平面直角彩色电视机维修手册》、《实用电视接收天线手册—原理、选用、制作、安装、维护》、《怎样看家用电器电路图》、《快修巧修进口国产彩色电视机》、《最新进口录像机及激光放像/唱机维修手册》、《家用摄录像机(一体化)维修手册》、《卡拉OK·环绕声·混响处理器的原理与制作》及《最新音响集成电路应用手册》、《国内外彩色电视机维修资料大全》、《录像机常用集成电路手册》、《新编传感器原理·应用·电路详解》、《最新集成电路收音机原理与维修》等。

我们出版补充读物的宗旨，是对基本教材拾遗补缺，为培训班师生和不同层次的电子爱好者提供进一步的参考资料，帮助他们深化对基本教材内容的理解和拓宽知识面。因此，在编写过程中，我们注重内容新颖，实用，资料翔实，叙述力求深入浅出，通俗易懂。事实证明，补充读物的出版起到延伸培训教材深度和广度的作用，对提高广大电子爱好者的素质，提高家电维修培训质量都是大有裨益的。

由于家用电器维修培训牵涉面广，学员及广大电子爱好者的水平和要求不同，加之我们水平有限，故补充读物的出版还不能完全满足不同专业、不同层次读者的要求。我们恳切希望全国各地的家电维修培训班的学员、教师以及广大电子爱好者提出宝贵意见，并寄至北京3933信箱（邮政编码：100039）全国家电维修培训协调指导小组办公室，如在当地购不到图书可直接汇款常年供应，在此谨致诚挚谢意。

《全国家用电器维修教材》编委会

1994年4月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 无线电信号的初步概念	1
第二节 电磁波	3
第三节 调制与调幅信号简介	9
第四节 信号的频谱特性	11
第五节 广播、电视发送的方框图	21
第六节 接收无线电广播的主要过程	22
第七节 无线电波波段的划分	26
第八节 无线电波的传播	28
复习思考题	34
第二章 电路元件的高频特性	36
第一节 电感线圈的电感量与高频特性	30
第二节 电容器的电容量与高频特性	43
第三节 屏 蔽	46
复习思考题	51
第三章 晶体管的共发射极等效电路	53
第一节 晶体管等效电路的概念和类型	54
第二节 PN 结(晶体二极管)的等效电路	57
第三节 晶体管的共发射极混合 π 型等效电路	61
第四节 晶体管的电流放大系数	68
第五节 晶体管的频率参数 f_{β} 和 f_T	72
第六节 晶体管的 Y 参数等效电路	76
第七节 两种等效电路的比较	85

复习思考题	87
第四章 小信号单调谐放大电路	89
第一节 引言	89
第二节 小信号单调谐放大电路的工作原理	91
第三节 单调谐放大器的等效电路	95
第四节 谐振频率、品质因数与谐振电阻	98
第五节 单调谐放大电路谐振时的增益	98
第六节 单调谐放大电路的通频带和选择性	100
第七节 多级单调谐放大器的级联	104
复习思考题	108
第五章 双谐振耦合回路与双调谐放大器	110
第一节 引言	110
第二节 电容耦合双谐振回路	112
第三节 互感耦合双谐振回路	118
第四节 双调谐放大器	123
复习思考题	131
第六章 阻容耦合宽频带放大电路	132
第一节 概述	132
第二节 RC 电路的频率特性	134
第三节 共射阻容放大器的基本电路	138
第四节 负载为纯电阻时阻容放大电路的讨论	142
第五节 负载为容性时阻容放大电路的讨论	147
第六节 扩展放大器通频带的电路	149
复习思考题	161
第七章 LC 正弦波振荡电路	163
第一节 变压器耦合反馈式振荡电路	163
第二节 三点式振荡电路	171
第三节 改进型电容三点式振荡电路	179
复习思考题	185

第八章 振幅(包络)检波	187
第一节 非线性器件的频率变换作用	187
第二节 检波器概述	190
第三节 二极管检波电路工作的物理过程	198
第四节 大信号(峰值)检波器的主要性能	202
第五节 小信号(平方律)检波器的主要性能	205
第六节 二极管检波器的实际电路举例及元件参数的选择	208
复习思考题	212
第九章 调频与鉴频	213
第一节 调频信号的性质	213
第二节 调频信号的解调——鉴频	222
第三节 相位鉴频器	224
第四节 比例鉴频器	231
第五节 调频制与调幅制性能比较	237
复习思考题	241
第十章 变频	242
第一节 概 述	242
第二节 实现变频的方法	247
第三节 变频跨导的概念	250
第四节 三极管变频增益	253
第五节 三极管变频器的实际电路	254
第六节 装调变频器的一些考虑	259
复习思考题	262

第一章 绪 论

第一节 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)，而且衰减相当快。一个人无论怎样尽力高声呼喊，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，再设法把电信号传送出去。将声音变为电信号的任务由话筒来承担。当播音员对着话筒说话时，话筒就将声能转变成电能输出相应的电流，该电流的变化规律与声音的变化规律相同，如图1-1所示。

类似的道理，要想传送一幅图象到很远的地方，也只能将

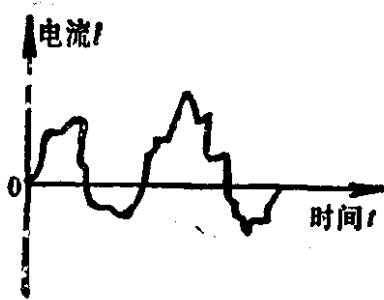


图1-1 声音信号的波形

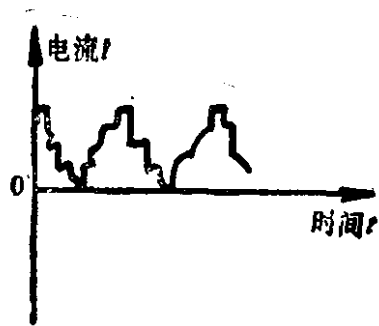


图1-2 电视信号的波形

它先变换成电信号然后再设法传送出去。将图象变为电信号的任务是由摄像管来承担。摄像管内有一只完成光-电转换的摄像管，当摄像管对准播音员或现场活动景象时，摄像管就输出相应的电流，其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。

我们把代表某种消息(如声音、图象等)的电压或电流称为电信号，也称原始信号。性质不同的电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；电视里的电信号，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，其电压通常只有几毫伏，需要用音频放大器加以放大。经过放大后的音频信号可以用导线传送出去，再经扬声器恢复为原来的声音。这就是有线广播系统或扩音系统的基本原理。其方框图，如图1-3所示。

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

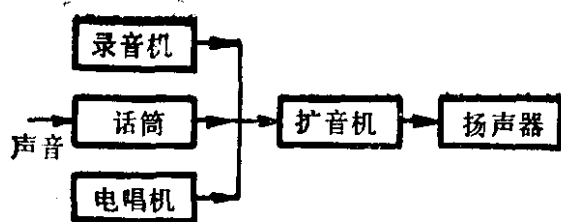


图1-3 有线广播系统方框图

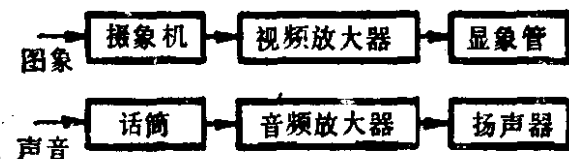


图1-4 有线电视系统方框图

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。

第二节 电 磁 波

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，就是一种最简单的振荡电路，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时，电容器极板上的电荷，也作周期性变化。与此同时，跟电流相联系的空间磁场和跟电荷相联系的空间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也应该永远保持不变。这种振荡叫做等幅振荡。

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 。

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马上发现的，也不是先从实验观察到电磁波后才认识的。19世纪60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，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20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。

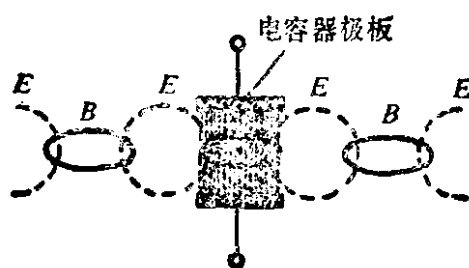


图1-5 电磁波形成的示意图

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 \vec{E} 与磁感应强度 \vec{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。

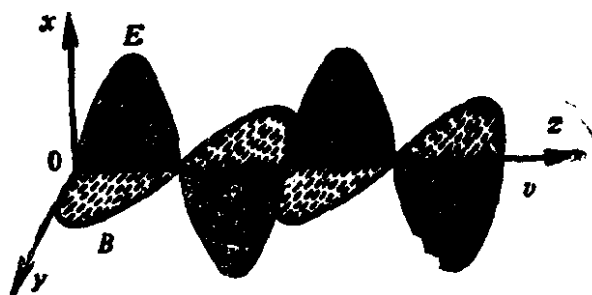


图1-6 电磁波传播示意图

麦克斯韦还从理论研究中发现，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 λ (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 λ 。如果 c 的单位是“米/秒”， f 的单位是“赫芝”，则 λ 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

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

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

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，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，电场能量几乎完全集中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、磁场的分布散开。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增强了。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。

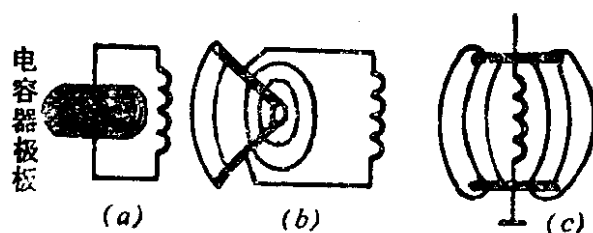


图1-7 能发射电磁波的振荡回路形式的变换

对于电磁波发射的进一步研究表明, 天线的尺寸必须有一定的长度, 才能使电磁波有效地发射。具体地说, 天线的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 1.5×10^4 至 1.5×10^7 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, 由于声波在空气中衰减很大, 也传送不远, 而且各个电台所发出的信号都是在同一频率范围内, 它们在空中混在一起, 接收者无法选择所需的某一信号。要想传播声音信号, 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, 不同的广播电台又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, 就是所谓的“调制”。