

第一章 无线电广播

第一节 无线电波

一、什么是无线电波

在广袤无际的宇宙中，上至碧塔下至黄泉，无时无刻都充满和活跃着各种各样的波。有的波看得见，如水波，有的波听得见，如声波；有的波觉得着，如地震波。但有的波却无声无息，无声无色，真是去无影来无踪，可是它却实实在在的存在，每时每刻都存在于我们的身边。无线电波就是这种波的一种。

那么什么是无线电波呢？所谓“波”其实是物质运动的一种形式，或者说是一种运动着的物质。无线电波是电磁波的一种，它与光波是亲兄弟，只是其波长（或频率）不同而已。

电磁波的频带极宽，其频谱差不多从几赫至 10^{16} MHz它包括音频、射频（即无线电波频率）、红外线（辐射热）、可见光、X射线、 γ 射线、宇宙射线等 其频谱如图 1-1 所示。

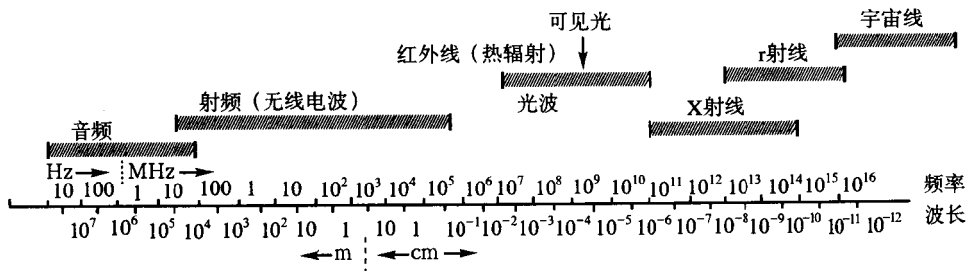


图 1-1 电磁波频谱

电磁波是不断变化着的（包括其强度和振动方向）电场和磁场。我们知道，由于电磁感应的作用，变化着的电场将产生变化的磁场，而变化着的磁场又会产生出变化的电场，不过它们的变化方向是相互垂直的，如图 1-2 所示。

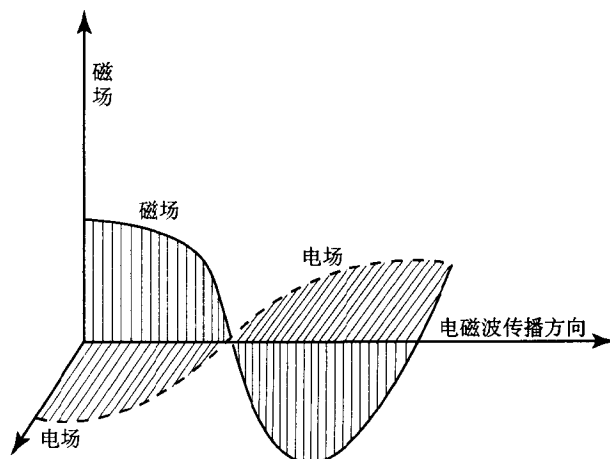


图 1-2 电场、磁场与其传播方向

从图中可知，波长从 1 mm (频率为 300 GHz) 至 10^5m (频率为 10 kHz) 之间的电磁波就是无线电波。无线电波又可分为 9 个波段，如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电波段 (频段) 划分和应用

波段	波长	频段	频率	应用范围	
极长波	10^5 m 以上	极低频(ELF)	3 kHz 以下	专用	
超长波	$10^5 \sim 10^4\text{ m}$	甚低频(VLF)	3 ~ 30 kHz	海上导航	
长波	$10^4 \sim 10^3\text{ m}$	低频(LF)	30 ~ 300 kHz	电报、海上导航	
中波	1km ~ 100 m	中频(MF)	300 ~ 3000 kHz	无线电广播、海上导航	
短波	100 ~ 10 m	高频(HF)	3 ~ 30 MHz	电报、无线电广播	
微波	超短波(米波)	10 ~ 1 m	甚高频(VHF)	30 ~ 300 MHz	广播、电视、导航、雷达移动通信
	分米波	10 ~ 1 dm	特高频(UHF)	300 ~ 3000 MHz	电视、雷达、导航、接力通信
	厘米波	10 ~ 1 cm	超高频(SHF)	3 ~ 30 GHz	数字通信、卫星通信、接力通信
	毫米波	10 ~ 1 mm	极高频(EHF)	30 ~ 300 GHz	雷达、导航、通信

从该表中可知其中中波、短波和超短波用于广播。

二、无线电波的产生与接收

1. 无线电波的产生

前面已提到，只要存在交变的电场，其周围就会产生无线电波。在高频电子电路中已知在已触发的高频谐振回路中的电感和电容之间会发生电能与磁能的不断转换。也就是说，在这谐振回路中的电容的两极板之间存在着交变的电场，这一交变的电场就是无线电波的源头。图 1-3 示出了无线电波产生的示意图。

我们若把一个由电感线圈与电容器并联的并联谐振回路与高频振荡器相连接，如图 1-3 所示。那么在这并联的谐振回路中就会激发，产生电磁振荡，在电容器两极片间就会产生交变的电力线（电场）如图 (b)。若把这电容器两极片间距拉开，就形成一副发射无线电波了（如图 b）。由于各条电力线之间具有排斥作用，电力线就将向外挤。这一簇交变的电力线又会感生出一簇交变的磁力线……（如图 c）。这样就发射出无线电波了。

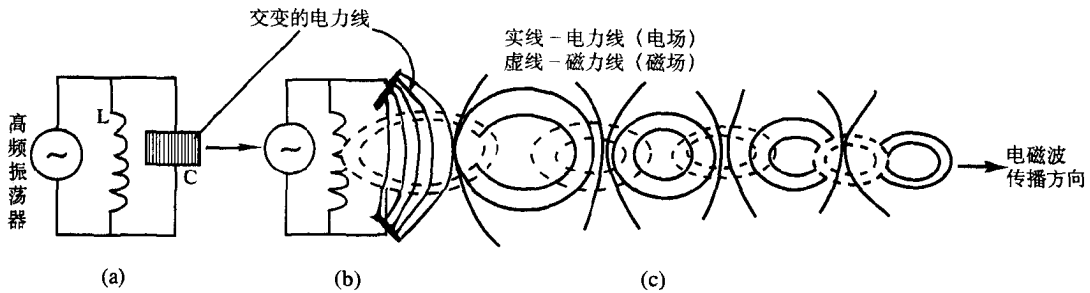


图 1-3 电磁波发射示意图

2. 无线电波的接收

我们知道，当一簇交变的磁力线切割过一段导线，或穿过一个线圈时，在这导线中或线圈中将会激发出相应的交变的电动势。既然空中满布着各个广播电台发出的无线电波，那么我们只要简单地在空中放置一根导线（天线）或一个线圈（磁性天线），那么在这根导线或线圈中就会产生相应的电动势。这就接收了无线电波并使它还原成电信号了。图 1-4 是接收无线电波的示意图。这一接收无线电波的线圈也就是接收天线了。

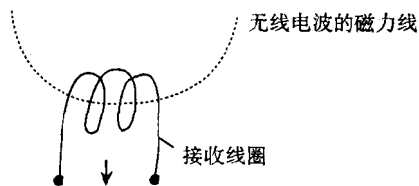


图 1-4 无线电波接收示意图

三、无线电波的传播

无线电波的传播主要有四种方式：地面波（地波）、天波、空间波和散射波。但并不是所有无线电波都具有上述四种的传播能力，而是视其波长“各取所需”。

1. 地面波传播

地面波，又叫地波。它是贴着地球表面传播的波，如图 1-5 所示。由于地波是贴着地面

传播的，它靠近地表，而地表是具有明显电阻的导体，故会在地表中感应出传导电流。这电流在地表电阻中会产生损耗。从而使它在传播过程中不断地被地面吸收而逐渐减弱。无线电波的波长越短，频率越高，它被地面吸收的程度也越明显，故长波和中波宜于作地面波传播，而短波以上则因传播过程中衰减太快，故不宜于进行地面波传播。地面波的特点很稳定，且对长波来说距离也较远，可传到几百公里。

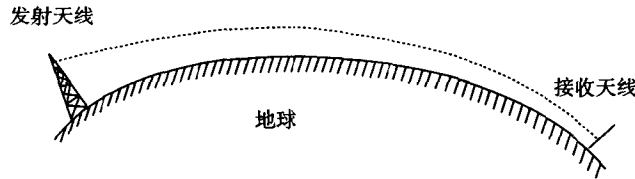


图 1-5 地面波的传播

2. 天波传播

顾名思义，天波肯定是从天上传播的。那么它是怎样传播的呢？原来我们的地球表面包围着几百公里厚的大气层。大气层由低至高可分为对流层、平流层、电离层三层。所谓电离层，是因它处于最高层，该层的空气分子由于受到太阳及其他星球射来的各种射线（如紫外线、 γ 射线及其他宇宙射线）的照射，空气中的分子就被电离，故在空气中充满了离子（带电的分子或原子和电子）。所以这层大气就叫电离层。电离层并不是很均匀的，它从低到高，依次可分为 D层、E层、F1层及 F2层四层，其距地面高度依次为 60~80 km、100~120 km、200~250 km 和 350~900 km。这四层中最高的一层 F2 层由于它处于各种射线轰击的最前线，故其电离密度最大，而 D 层由于处在最低层，故其电离密度最小，且夜间一般就消失。F2 层最不稳定，夜间也经常消失，故主要起作用的是 E 层及 F1 层。

由于电离层是导电的，因此它具有反射电磁波的特性。电离层对无线电波的反射特性，对不同波长的电波并不是“一视同仁”的。另外，电离层除对电波有反射作用外，也有吸收作用，波长越长电离层对它的吸收作用越大，故中波以上（包括中波）的长波一般不宜天波传播，因为对它的吸收作用太大。但在夜间，由于没有太阳照射，电离层电离密度较小，也可以反射一部分中波；对短于短波的超短波等虽然吸收作用很少，但它却不能被反射而是穿越电离层向太空“逃逸”了，故它也不能作天波传播。那么剩下来的只是短波了。短波的天波传播过程如图 1-6 所示。它在电离层与地面之间来回反射，因而可以传播很远，甚至可作环球通信。但它也有其显著的缺点——不稳定。这是因为短波是靠电离层的反射来传播的，而电离层的密度与高度都是很不稳定的，它与下列因素都有很密切的关系：

由于地球与太阳的相对位置，在一年四季及昼夜之间都在变化的，因而对无线电波的反射强度、角度也是时时变化着的。

由于太阳的活动程度是变化的，故同一地点、同一季度、同一时刻电离层的电离密度也是有变化的。

由于电离层有好几层，同一接收地点可能接收到同一电台发出的，但经过不同电离层反射回来的电波。由于所经过的路程不同，其相位也就不同，从而造成“干涉”作用，使

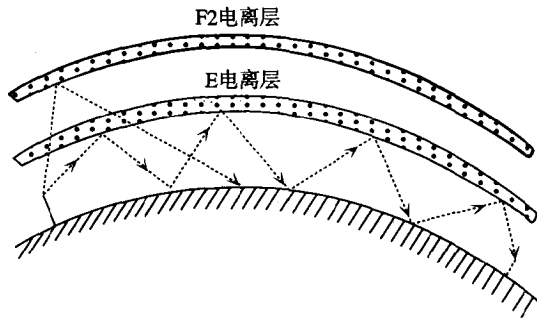


图 1-6 短波传播过程

信号时而强，时而弱。这就是短波传播中特有的“衰落”现象。

3. 空间波传播

所谓空间波，是指由发射天线发出的电波以直线方式通过空间直接传播到接收地点的电波。这种电波只要中途没有碰到能吸收或反射电波的障碍物，其间的传播耗损很小，但它也有一个“致命”的弱点，即传播距离较短。其中的问题就出在它的“直线传播”的特性上。住在大海边的人都有这一经验，当你等待远航的亲人返航时，首先看到的是海中缓缓升起的船上的桅干，而整个船体却迟迟不露面。原来它是被圆形的地球表面阻挡住了。就是因为这一原因，空间波只能在 50~60 km 的视距范围内传播。图 1-7、图 1-8 是空间波的传播示意图。从图中可看出，空间波的传播距离与发射天线、接收天线的高度有很大关系，天线越高传播越远，一般只能传 50~60 km。空间波的最大优点是比较稳定可靠。所以超短波广播（如调频广播与电视广播）与很多通信都用空间波。

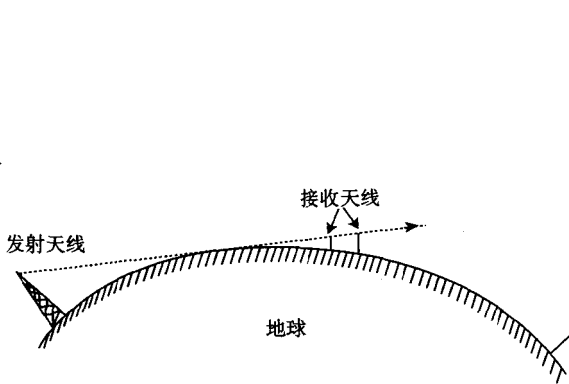


图 1-7 空间波传播示意图 (1)

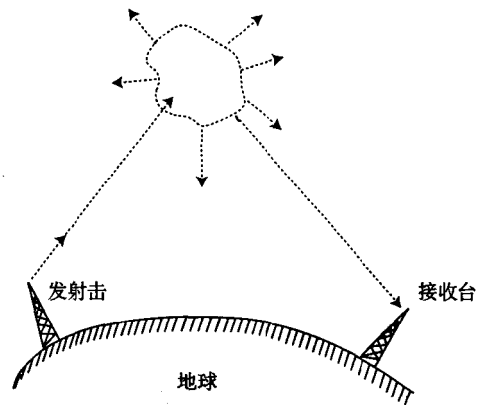


图 1-8 空间波传播示意图 (2)

4. 散射波传播

在离地面 20 km 左右那一层的大气叫对流层。由于它离地面最近，故受地球表面的地形

地物，气候等影响较大，其中有很多的旋涡气团（似水中的旋涡），形成不均匀区。我们知道，电磁波（例如光波）通过不均匀介质时它会产生散射（如光通过毛玻璃片时）。若利用这一散射现象也可以传播无线电波。但由于这种不均匀气团的生成与存在都是很随机的，故不能直接简单地用于广播或通信，除非经过专门的设备，它能及时发现检测不均匀气团的存在，并能及时快速地发射出大量的无线电波信息，且在接收地能即时将这大量的信息接收并存储下来，然后再从存储设备中顺次提取信号加以处理，显示。这种通信就叫散射通信。

根据上述几种无线电波的传播特性，我们可以画出各波段的无线电波的一般传播情况，如图 1-9。

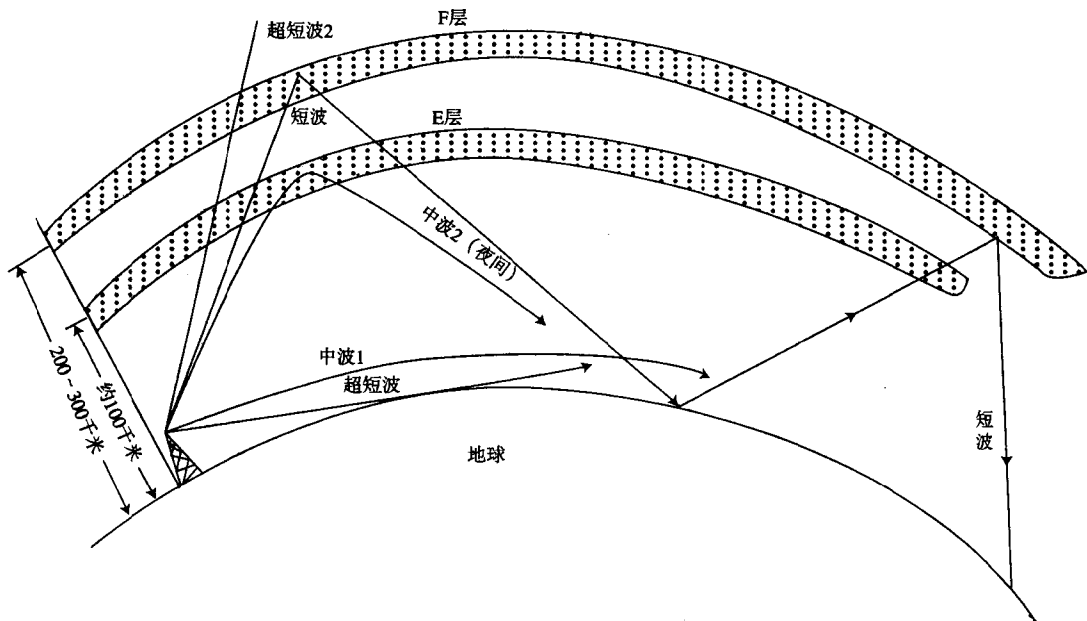


图 1-9 各波段无线电波的传播

第二节 无线电广播

以无线电波作为传播媒体进行广播就是无线电广播。无线电广播是目前用得最为广泛的一种大众传播媒体。

一、无线电广播的种类

目前无线电广播可分两大类 调幅 (AM) 广播和调频 (FM) 广播。调幅广播的波段有长波 (150~415 kHz)、中波 (525~1605 kHz)、短波 (1.6~26.1 MHz) 三个波段,但长波广播除个别国家外,用得较少。调频广播波段都在超高频 (VHF) 波段,国际上规定为 87~108 MHz。

这两类无线电广播各有其优缺点。AM 广播所用的波段波长长,它的传播距离远,覆盖

面积大，且接收机的电路也比较简单，价格便宜。它的缺点是能传输的音频频带窄（一般只有 3 kHz 左右），高音不足，音质较差，不宜传送高保真音乐节目；在传播中容易干扰，噪声大，信噪比低。

调频广播的优点是能传输的音频频带宽（一般可达 15 kHz 以上）宜于传送高保真音乐节目。其次是它的抗干扰性强；调频广播采用频率调制，可以用限幅的方法有效地消除掉寄生的幅度变化（由干扰产生的多半是幅度变化），从而可以减小大部分噪声干扰。此外，与 AM 调制信号比，它的发射功率也可减小。因为 AM 调制中绝大部分时间内信号的幅度小于其最大幅度，故其有效发射功率比发射机的极限功率要小得多。调频广播的信号幅度是不变的。因此在整个发射过程中可使用其全部功率。FM 广播的另一好处是由于它的传输频带宽，故易于实现立体声高保真广播。

调频广播也有它的不足之处。由于工作于超短波波段的电波只能在一定范围内（50~60 km）传播，因而覆盖区小，在传播过程中易于被高大建筑物或其他地物所遮挡。不过这一点从另一角度来看时也可能是优点；正由于它的覆盖区小，各地区、城市有可能使用同一或相近的频率，而不致引起相互干扰，提高了频率利用率。

调幅广播是利用幅度调制的无线电信号来传送节目内容（主要是音频信号）的。所谓幅度调制，是使原来等幅的高频载波信号的幅度随着调制信号（音频信号）的幅度而变化，如图 1-10c）所示。被音频信号调制过的高频信号叫做已调幅（高频）信号*，简称调幅信号。

调频广播则是利用频率调制的无线电波。频率调制是指使原来等幅恒频的高频信号的频率随着调制信号（音频信号）的幅度而变化的过程，如图 1-10（d）所示。已调频信号的幅度仍是固定不变的，但当音频信号正半周时载波的频率变高，而当音频信号的负半周时载波

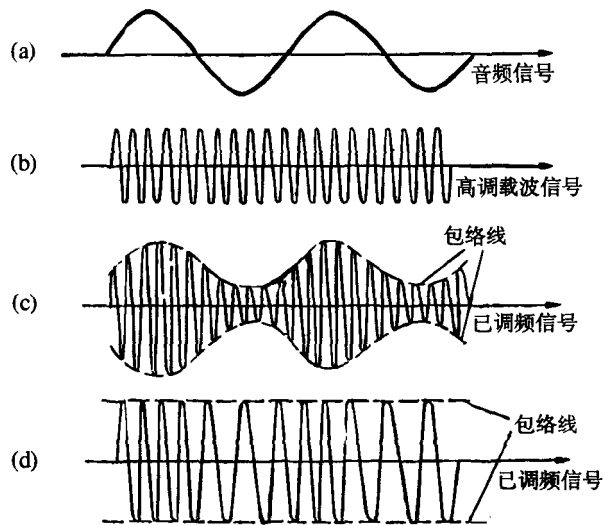


图 1-10 调幅与调频波形

* 调制技术中的一些术语比较混乱，各种书刊中很不统一。本书把用来调制高频载波的信号（多半是音频信号）叫做“调制信号”，而把已经过调制的高频载波信号叫做“已调制信号”或简称“已调信号”。对调幅的叫“已调幅信号”，对调频的叫“已调频信号”。

的频率变低，形成一个疏变密化的等幅高频信号。已调频信号常简称调频信号。

在已调频信号中无音频信号调制时（即音频信号的幅度为零时）的频率当然就是高频载波的原频率，叫作“中心频率”。

关于调幅信号的基本概念，在本教材《高频电路原理》一书中已介绍过了，这里只作些补充与复习，而重点放在与调频信号的比较方面。

为了较全面地了解调频信号的特点，下面先介绍一些调频技术中的基本概念和术语。

1. 频率偏移

在调频技术中有一个很重要的概念—频率偏移，简称“频偏”。在图 1-11 中 (b) 为音频调制信号，(a) 为高频载波的频率（瞬时频率）的变化规律。图中 A、B、C、D、E、F、G、H、I 代表不同的时间。在 A 时刻，音频信号的幅度为零，载波的频率不发生变化，它此时的频率 f_A 等于原来的频率 f_0 ，也即中心频率；在 B 时刻，音频信号的幅度上升至 B 点，载波的频率随之上升至 f_B ；当 C 时刻，音频信号幅度上升至 C 点，载波频率相应上升至 f_C 。这时音频信号的幅度最高，载波的频率也达最高。然后，随着音频信号幅度的减小，回跃至 D 点，载波频率也下降到 f_D ；之后音频信号降至零，载波频率也随之回至中心频率 f_0 。这样完成音频信号的半周调制过程。同理，音频信号的负半周调制过程中，载波频率从 f_0 开始，逐渐下降，由 $f_0 \rightarrow f_E \rightarrow f_F \rightarrow f_G$ （最低频率） $\rightarrow f_H \rightarrow f_I \rightarrow f_0$ ，完成一周的调制过程。

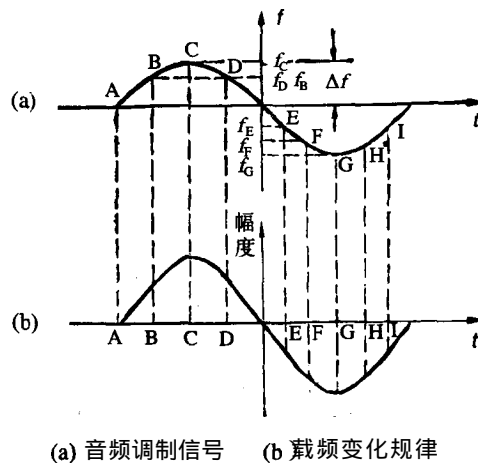


图 1-11 频偏示意图

上述载波信号（已调频信号）的最高（或最低）频率 f_C （或 f_G ）和中心频率 f_0 之差（记作 Δf ）即叫该已调频信号的“频率偏移”（频偏）。

从以上叙述中可知，已调频信号的频偏 Δf 的大小是随着音频调制信号的幅度而改变的。或者说，已调频信号的频偏 Δf 是与音频调制信号的幅度成正比的。

在调频无线电广播中，由于受到传输通频带及邻频道间隔的限制，规定已调频信号的频偏不得大于 $\pm 75 \text{ kHz}$ 。

2. 调频指数

在调频技术中另一个常用的概念是“调频指数”。它的定义是，已调频信号的频偏 Δf 与音频调制信号的频率 f_a 之比。调频指数常用 M 表示，即 $M = \frac{\Delta f}{f_a}$ 。显然，调频指数与 Δf 成正比，而与音频调制信号频率 f_a 成反比。

由于 Δf 又与音频调制信号的幅度成正比，故 M 与音频调制信号幅度也成正比。

3. 调制度

调制度是用以标志已调制信号的相对调制深度的一个参数，用百分数来表示。例如调频广播中规定已调制信号的最大频偏为 $\Delta f = 75 \text{ kHz}$ ，若某一已调频信号的频偏为 50 kHz ，那么该信号的调制度 (m) 为 $\frac{50 \text{ kHz}}{75 \text{ kHz}} \times 100\%$ ，即为 66.6% 。

由此可知，调制度（对 FM 信号来说为调频度）只与频偏有关，而频偏又与音频调制信号的幅度和载频的中心频率有关，而与音频调制信号的频率无关。

例如一个 2 kHz 的音频信号调制（调频）一个频率为 f_c 的载波，产生 50 kHz 的频偏，则其调制度为 $\frac{50}{75} \times 100\% = 66.6\%$ ；若一个同幅度的 3 kHz 音频信号调制同一载波，它也产生 50 kHz 的频偏，那么已调波的调制度也是 66.6% 。但对调频指数来说，上述两种情况就不同了，前者的 $M_1 = \frac{50 \text{ kHz}}{2 \text{ kHz}} = 25$ ；而后的 $M_2 = \frac{50 \text{ kHz}}{3 \text{ kHz}} = 16.7$ 。调制度 m 与调频指数 M 的关系是 $M = m \cdot \frac{\Delta f}{f_a}$ 。

二、调幅信号与调频信号的频谱

已调幅信号的频谱在《高频电路原理》中已叙述得比较清楚了，它只有一对（左和右）边频或边带。每一边带的频宽等于调制信号的频宽，因此已调幅信号的频宽是最高音频调制频率的两倍。但已调频信号则不同，从理论上说，即使用单音来调制，已调频信号的频谱在其中心频率 f_c 两边都存在着无限多对边频；各边频间的间隔等于音频调制信号频率 f_a ，各边频的幅度则与调制频率、频偏等有关。图 1-12 (a) 示出了同一 f_c （音频调制信号频率）不同频偏 Δf 时的已调频信号的频谱变化情况；而图 (b) 则示出同一频偏、不同频率的调制信号时的情况（太微弱的边频略去未画）。从图中可看出，频偏越大，已调信号中具有较大幅度的边频越多；调制信号的频率越高，各边频间的间隔就越大。因此，我们可以得出这样一个结论：调频指数 M ($\frac{\Delta f}{f_a}$) 越大，已调频信号中的有效边频数（略去极微弱的边频后的边频数）越多； M 越小，则有效边频数也越少。

上面所举的例子是指单音调制而言的，若调制信号是一个频带较宽的乐声，那么已调频信号的频谱就更为复杂，其频带也就更宽了。

不过，从图 1-12 中可以看出，离中心频率越远的边频，其幅度也就越小，故较远的边频，由于幅度极小，实际上已不起明显作用。实验证明，舍去幅度小于载波信号 $1/10$ 的边

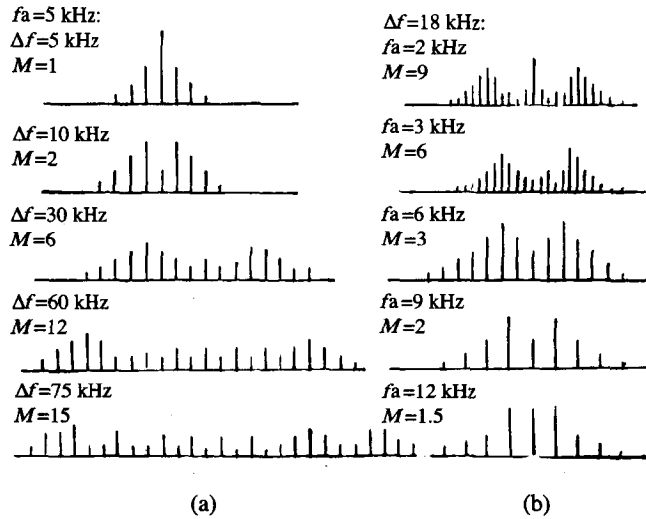


图 1-12 调幅信号与调频信号的频谱

频，对信号的传输质量已没有什么影响。进一步分析，还可以证明，有效边频数约等于调频指数加 1，即 $N=M+1$ (N 为有效边频数， M 为调频指数)

知道了有效边频数以后，因各边频的间隔是已知的，等于 f_a 那么已调频信号的有效带宽 B 就可以计算出来了。其计算式为：

$$B \approx 2Nf_a = 2(M+1)f_a$$

例如 已知音频调制信号的频率 f_a 为 10 kHz 频偏为 75 kHz(最大)那么 $M = \frac{75}{10} = 7.5$, $N = M + 1 = 8.5$ 则 $B \approx 2Nf_a = 2 \times 8.5 \times 10 = 170$ kHz。如果音频调制信号频率降至 3 kHz, 则同法可以算出其有效带宽 B 为 156 kHz。计算有效带宽的公式也可改写为 $B \approx 2(f + f_a)$, 不难看出, 当频偏不变时, f_a 越低, B 也越窄。因此, 我们可以得出结论: 能满足最大频偏和最高音频调制信号频率 $f_{a \max}$ 的有效通带, 也就能满足整个音频调制信号中其他频率信号的要求了。在调频广播中规定最高调制音频信号的频率为 15 kHz, 因此其通带应该是:

$$B \approx 2Nf_{a \max} = 2(M+1)f_{a \max} = 2\left(\frac{75}{15} + 1\right)15 = 180 \text{ (kHz)}$$

这也是对广播调频收音机的通带要求。

三、不同已调制信号的噪声特性

由于调幅和调频的调制过程不同 因而噪声对已调幅信号和已调频信号的影响也不同。假设有一个有用音频调制信号 U_s 和一个噪声信号 U_n 同时调制一个载波信号 U_c 。如图 1-13 中所示, 这时对载波的调制信号, 实际上是 U_s 与 U_n 的合成信号 U_o 。当然, U_o 的瞬时幅度为 U_s 、 U_n 瞬时幅度之代数和。由于 U_s 和 U_n 的起始相位不同, U_o 的频率也是变化着的。这就是说 U_o 本身不但是一个已调幅信号, 同时也是一个已调频信号。于是我们可以把噪声分为调幅噪声、调频噪声两部分。调幅部分只对调幅接收起作用, 而在调频接收时, 可以很方便地用限幅器来加以消除。但对调频噪声来说, 则调频接收机无法限制。

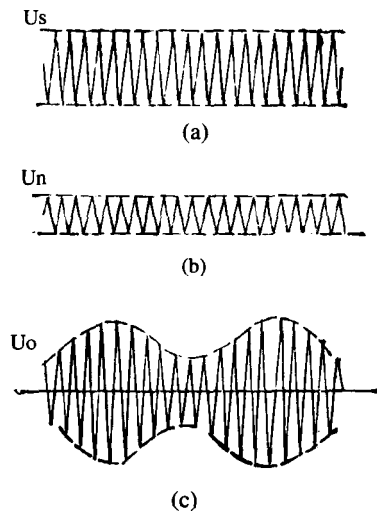


图 1-13 载波被噪声调制时

根据理论计算和实践证明，调幅噪声与调制频率无关，即它的频谱是均匀分布的，如图 1-14 中 (a) 曲线所示，也即通常所说的“白噪声”；但调频噪声则不同，它的频谱是呈三角形的（如图 1-14 (b) 曲线），幅度随着频率的增高而增大。

为了降低调频广播的噪声，一般都采用“预加重”及“去加重”方法。如上所述，已调频信号噪声的特点是频率越高噪声越大，而一般音乐或语言的能量多集中于低、中频段，高音段能量较小，这就使高音段的信号-噪声比更坏，噪声更为突出。为了消除调频的这一缺点，我们有意地在调频信号、未送入发射机的调制器以前，预先将音频调制信号的高音部分加以提升 如图 1-15 中的实线所示 这叫做“预加重”。为了使传输中不产生失真 在收音机中再把高音部分压低 确保还原出与调制信号相同的音频信号。这种方法叫做“去加重”，如图 1-6 中的虚线所示。

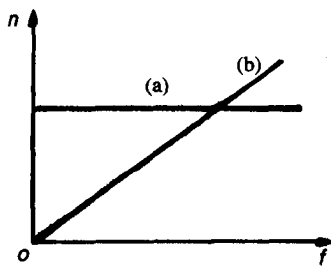


图 1-14 调幅噪声与频率的关系

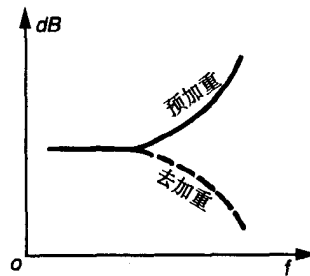


图 1-15 预加重与去加重特性

第三节 无线电广播收音机的种类和构成

一、调幅收音机的种类和构成

调幅收音机的基本功能包括：(1) 把空中的无线电波转变成高频电信号。实现这一功能的设备是“接收天线”。(2) 解调，即把调制在高频载波上的音频信号从已调幅高频信号上“卸”下来。在调幅收音机中通常叫它为“检波”。实现这一功能的电路叫做“检波器”。(3) 把检波后的音频信号重新转变成声波。它由耳机或扬声器来完成。

为了提高、完善收音机的性能，现代收音机中还有许多其他电路，将在后文中详细介绍。

收音机的分类方法很多，依其电路程式可分为直接检波式、高放式（也叫直接放大式或简称直放式）和超外差式；以通道分，有普通的单通道调幅收音机和发展中的立体声调幅收音机；按接收波段分有单波段收音机和多波段收音机等。

1. 直接检波式调幅收音机

最简单的直接检波式收音机由天线、检波器及耳机三部分构成。由天线送来的高频已调信号经过检波器检出音频信号，最后再由耳机变成声波。由于现代广播事业非常发达，天空中传播着很多不同频率的无线电波。如果把这许多电波全都接收下来，而且都经过检波器，把它们变成音频信号，这就会像人处于闹市之中一样，由于许多声音混杂在一起，结果什么也听不清了。

为了有选择地进行接收，在天线与检波器之间还要加装一个选择电路，用以选出欲要接收的信号，而排除其他信号。

图 1-16 示出了加有选择电路的直接检波式收音机的方框图。

这种收音机的功能少，电路不完善，收音效果很差，因而只能作为实验用或儿童玩具。

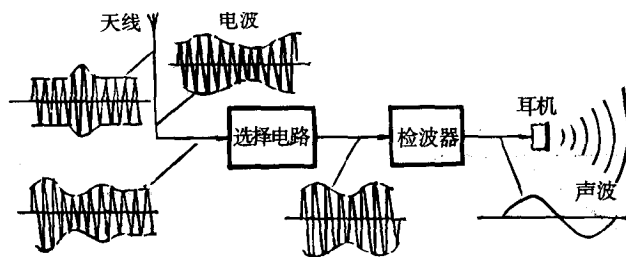


图 1-16 直接检波式收音机方框图

2. 高放式收音机

从天线上获得的高频已调幅信号一般只有几十微伏至几毫伏，故直接检波式收音机只能收到附近的大功率电台的信号，另外还由于送至检波器的信号也很弱，检波效果差。为了解决这个问题，可在选择电路与检波器之间插入一个高频放大器，在检波器后加一低频放大电

路，加大音量，如图 1-17 所示。高频放大器（简称高放）的作用是把从天线接收到的已调幅信号无失真地加以放大。

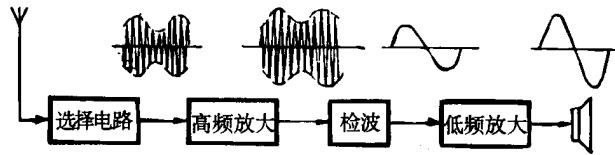


图 1-17 高放式收音机方框图

为了进一步提高收音机的效能，一般实用的直接放大式收音机还加有再生及来复电路。所谓“再生”，是把检波后信号中的遗留高频成分再送到高放输入端，用以加强高频信号。至于“来复”是指高放又兼作音频放大（又叫低频放大）用以提高器件的利用率。图 1-18 即为高放、再生、来复式收音机的方框图。这种收音机做得好时灵敏度很高，输出功率也可做得较大，足以推动扬声器放音，故有一定实用价值。

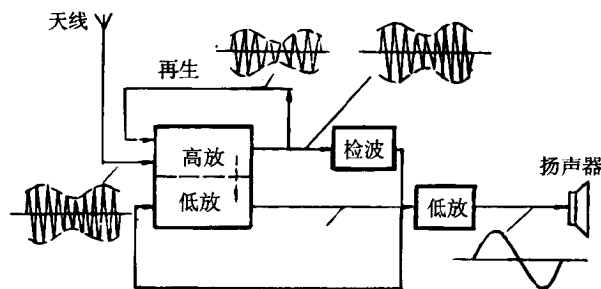


图 1-18 再生式收音机方框图

3. 超外差式收音机

高放、再生、来复式收音机虽然比直接检波式收音机完善得多，但仍有很大的缺点——灵敏度及音质不能提得很高。这是因为下面几个原因：(1) 为了提高灵敏度，高放级数就要很多，而高放级一般都得采用调谐式放大器，否则选择性就会变差，因而调谐回路也要增加。这些调谐回路的谐振频率又都要是可变的而且还要同步（即随时都要调谐于同一频率），这给工艺上带来很大困难；(2) 即使所有调谐回路都能作到同步调谐，由于放大的频率很高（对短波收音机来说约为 1.6~26.1 MHz；对中波收音机也达 525~1605 kHz），各级间难免有所耦合，很易形成自激振荡，破坏正常接收；(3) 由于调谐回路多，总的谐振曲线将变得很窄，影响通频带，使音质变坏。以上所述是高放式收音机的根本性缺陷，故现代收音机已都不采用此种方式，而代之以超外差式。超外差式收音机的方框图如图 1-19 所示。从图中可见，超外差收音机结构上的主要特点是在选择电路（即输入电路）或高频放大器与检波器之间插一个变频器及一个中频放大器。变频器的功用是把外来已调幅高频信号变为另一个

频率的信号（一般都比高频已调信号低），但不改变其包络形状，也即不改变其调制信号。这一改频后的已调制信号叫做中频已调信号，简称中频信号。

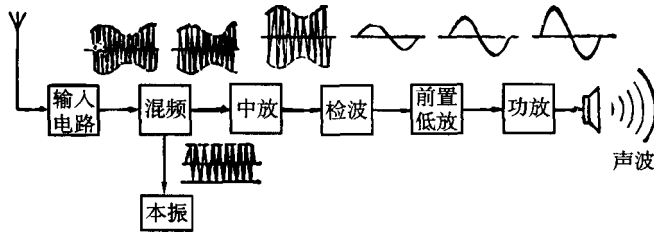


图 1-19 超外差式收音机方框图

变频器在变频过程中还有一个很重要的任务是不管输入的高频信号频率如何，经它变频后一律成为一个频率固定的中频信号。我国规定中频为 465 kHz，有的国家规定为 455 kHz。

中频放大器（简称中放）的作用是放大变频器送来的中频信号，使放大后的信号满足大信号检波器的要求*。中频放大器的第二项任务是提高整个收音机的选择性，并保持足够的通频带。由于中频的高低可以根据设计者的要求来决定，且它是固定不变的，故中频放大器比较容易满足上述两项要求。

例如有两个电台，其频率相应为 990 kHz 与 1000 kHz，它们相差只有 10 kHz。对高放式收音机来说，如其选择电路调谐于 1000 kHz（即接收 1000 kHz 的电台）对 990 kHz 的电台信号来说，只失谐 $\frac{1000-990}{1000}=1\%$ 。一般的调谐电路很难把失谐只有 1% 的信号完全排除掉的。

可是超外差式收音机情况却不同了。同样要接收 1000 kHz 的电台，其输入调谐电路当然调到 1000 kHz 但它的本振却调到 $1000+465=1465$ kHz，才能使变频后输出 465 kHz 的中频信号。这时 990 kHz 的信号虽然仍可有部分通过输入调谐电路，进入变频器，但经变频后的干扰中频却是 $1465-990=475$ kHz 了。虽然，它与额定中频（465 kHz）的绝对失谐量也仍是 10 kHz，但相对失谐量却为 $\frac{10}{465} \approx 2.2\%$ ，比直放式的大多了。我们知道，一个调谐电路对某一干扰信号来说，失谐的绝对量不能决定其效果，有决定性意义的是其相对失谐量。

另外，由于中放工作于固定频率，所以它的调谐电路较易做得理想些。例如可以用多级调谐电路，甚至可采用晶体滤波器等。

由于中频固定，且频率比高频已调信号要低。因此，中放的增益可以做得较大，工作也比较稳定，通频带特性也可做得比较理想。这样可以使检波器获得足够大的信号，从而有可能使整机输出音质较好的音频信号。

总起来说，超外差式收音机的优点是：灵敏度高、选择性好、音质好。

不过超外差式也有其特有的干扰问题 主要的是“镜像干扰”、“假响应”和“中频干扰”。镜像干扰是指其频率与欲接收信号频率相差两个中频的干扰信号。例如，当我们在接收

* 大信号检波比小信号检波失真小，效率高，这将在检波器一节中介绍。

$f_c=750$ kHz 的电台时, 此时的本机振荡频率 f_o 一定是 $750+465=1215$ kHz。这时若有一个频率为 $f_g=750+465 \times 2=1680$ kHz 的干扰信号。那么此干扰信号经变频后也是 465 kHz ($1680-1215=465$ kHz), 正好是中频信号。对此干扰, 中放调谐电路是阻挡不了的。从另一个角度来看, 有用信号频率 f_s 等于本振频率 f_o 减中频 f_i ; 而干扰信号频率 f_g 等于本振频率 f_o 加中频 f_i 。若画成频谱图就如图 1-20。从图中可看到, f_o 线像一面镜子, f_s 线好比一实物, 而 f_g 线则像是镜像。这就是“镜像干扰”名字的由来。

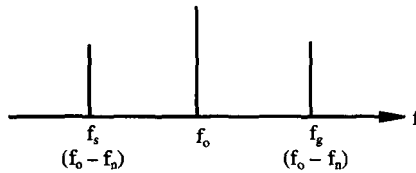


图 1-20 镜像干扰的形成

假响应是指由于变频电路等的非线性, 收音机对某些特定频率的信号会产生假的中频干扰信号。这些假响应干扰主要是指其频率为 $f_o - \frac{1}{2} f_i$ 、 $f_o - \frac{1}{3} f_i \dots$ (或 $2f_o - f_i$ 、 $3f_o - f_i \dots$) 的信号干扰。

由于变频器的非线性, 上述 $f_o - \frac{1}{2} f_i$ 及 $f_o - \frac{1}{3} f_i$ 等信号经变频后会产生中频成分, 经中放形成干扰。

例如, 当接收一个频率为 600 kHz 的电台时, 则其本振频率为 $f_o=600+465=1065$ kHz。如果这时有一个频率为 $f_g=f_o - \frac{1}{2} f_i=1065 - \frac{1}{2} \times 465=832.5$ kHz 的信号。则此信号经变频后成为 $f_o - f_g=1065-832.5=232.5$ kHz 的信号。此信号经变频器产生二次谐波。即正好是 465 kHz 的中频信号, 形成干扰。

由于本机振荡器的二次及三次谐波 $2f_o$ 、 $3f_o$ 的存在 会使 $2f_o - f_i$ 、 $3f_o - f_i$ 等的信号形成干扰。这是很明显的, 因 $2f_o - f_i$ 经变频器与本振二次谐波 $2f_o$ 差频后也正是中频 f_i 。

根据上面分析, 可以用简单的式子来表示假响应: 分谐波假响应为 $f_o \pm \frac{1}{n} f_i$; 本振谐波假响应为 $nf_o \pm f_i$ 。式中 n 为任意整数, 在高本振时取负数, 在低本振时取正数。

中频干扰是指频率等于或近似中频 f_i (465 kHz) 的信号的干扰。由于超外差收音机的选择性主要是由中放中的谐振电路 (如中频变压器等) 提供的, 而其输入电路频带较宽, 且特性很平坦, 尤其在接收中波低频端时, 很难把 465 kHz 附近的干扰信号消除干净。此干扰信号经变频器后窜入中放, 从而形成干扰。

调幅收音机的分类方法很多。除了按电路上分类外, 还常由其工作波段、性能参数, 以及所用器件、电源来分类。例如以波段分, 可分为长波 (约 700 ~ 2000 m) 中波 (186.9 ~ 570 m) 及短波 (约 11.49 ~ 187.5 m) 收音机; 以器件分, 有电子管式、晶体管式 (或半导体式) 收音机之分 以供电方式分 有电池式 (直流式) 交流式及交直流两用式收音机之分等; 以接收信号的种类分, 有一般的单通道调幅收音机和双通道立体声调幅收音机。不过后者尚未普及。

二、调频收音机的种类和构成

调频收音机的最基本功能也和调幅式收音机的相似，不再赘述。

在调频收音机中，解调功能由鉴频器（也叫频率解调器或频率检波器）来完成。至于其他两功能的电路，和调幅收音机中的一样。

调频收音机分类方法也很多，以电路程式来分，可分为直接放大式（超再生式）和超外差式两种；以接收信号的种类来分，有单声道调频收音机（一般就叫调频收音机）及调频立体声收音机。其他分类方式和调幅机的相同。

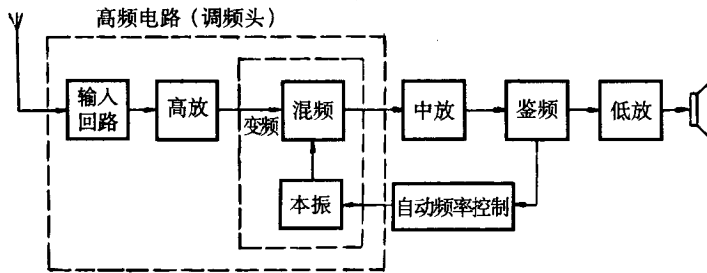


图 1-21 单声道调频收音机方框图

图 1-21 为单声道调频收音机的方框图，图 1-13 为调频立体声收音机的方框图。

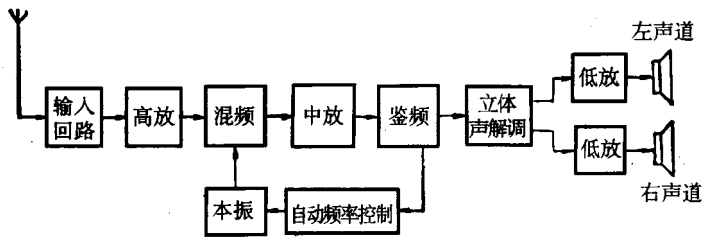


图 1-22 立体声调频收音机方框图

从图 1-13 中可看出，调频立体声收音机与单声道调频收音机的差别只是多了一个立体声解调器和一路低频放大器。

思考题

1. 目前世界上使用的无线电广播以调制方式分有几种，其各自的特点和优缺点是什么？
2. 调幅收音机以其电路程式分有几种，它们的优缺点是什么？
3. 超外差式收音机有哪几种特有的干扰，它们是怎样形成的？
4. 为什么调频广播中要采用预加重和去加重技术？
5. 为什么超外差式收音机的选择性、灵敏度、音质都比直放式的好？
6. 调频信号的有效带宽主要决定于什么？

第二章 调幅收音机

如前所述，调幅收音机有直接检波式、高放来复再生式和超外差式三种。但前两种因性能差，现在除作实验或简易袖珍机外已很少采用，故本书只介绍超外差式收音机。

第一节 输入电路

一、对输入电路的要求

输入电路，也叫调谐电路或选择电路，它是收音机的第一座大门。对它的要求归纳起来有：效率高，选择性适当，波段覆盖系数适当，在波段覆盖范围内电压传输系数均匀。

1. 效率高

效率高，就是损耗小，电压传输系数高。电压传输系数（ K ）是指输出信号电压 U_2 与输入信号电压 U_1 之比，即 $K = \frac{U_2}{U_1}$ 。电压传输系数的高低主要决定于输入电路输入阻抗与天线阻抗的匹配好坏，以及其输出阻抗与高放或变频电路输入阻抗的匹配情况。为了提高收音机的灵敏度，电压传输系数越高越好。

2. 选择性适当

对选择性的要求是很必要的。因为在接收天线中除了要接收的有用信号外，还存在着许多其他电台和工业干扰、自然干扰信号。有时这些信号比有用信号强得多，甚至强几百倍、几千倍！

对超外差式收音机来说，选择性虽然主要应由中放级来提供，但若输入电路的选择性太差，将会大大削弱对镜像干扰、假响应、中频干扰和交叉调制干扰的抗拒能力。

输入电路的选择性决定于谐振电路的谐振特性，而谐振特性又决定于电路的有效 Q 值（见图 2-1）。图中， $Q_1 > Q_2 > Q_3$ ，曲线 ① 最尖锐，曲线 ③ 最平坦。若单纯从选择性看，似乎曲线 ① 相应的电路最好，但由于其通带太窄，将使收音机高音衰减过多，音质变坏。所以输入电路的选择性要适当，并应以矩形系数来评价（参见《高频电路原理》）。

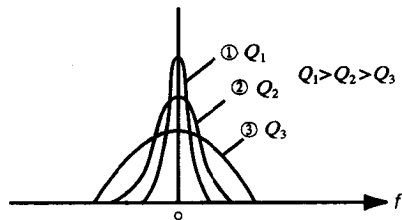


图 2-1 谐振回路的特性与 Q 值的关系

3. 波段覆盖系数合适

波段覆盖是指输入电路能调谐到的频率范围，而波段覆盖系数是指所能调谐到的最高频率与最低频率之比。当然，各类收音机覆盖范围的大小是不同的。例如一般调幅中波收音机