

# 一 无线电广播原理

无线电是 20 世纪初期才发展起来的,开始人们把它用于通讯,无线电广播则是无线电的一个分支。这一门科学技术在发明至今短短几十年的时间里,发生了翻天覆地的变化。已经被广泛地应用在工农业生产、国防军事、交通运输、广播通讯和日常生活等各个方面。

在这本书里,我们将从无线电广播的基本原理开始,学习一些初级的无线电技术。并指导大家用一些简单的元器件,自己组装收音机。如果读者能够刻苦钻研,克服理论学习上的困难,一边动脑学习一边动手实践。不但会对本书的内容感到浓厚的兴趣,而且还会对今后进一步学习无线电技术创造有利的条件。

## 1 无线电波及其发射原理

在无线电广播中我们会经常听到:“这里是××广播电台,××××千赫……”这是在告诉我们这家电台的名称和发射的无线电波频率。

我们知道:交流电每秒发生 50 次改变方向和大小的周期性变化。在电学里,把电流强度随时间作周期性变化的电流叫作振荡电流。交流电就是一种振荡电流。振荡电流每秒周期性变化的次数叫作振荡频率。在无线电技术里,向外发射的是高辐射能量的高频(一般在几百千赫以上)振荡电流,而每秒振荡几十次的低频振荡电流的辐射能量很低,在无线电广播技术中是不适用的。

当处于空间的导线通过高频振荡电流时,在它的周围空间就要产生不可分割的电场和磁场。电场和磁场是统一的客观物质——电磁场的两个方面,当导线周围产生变化的磁场时,变

化的磁场附近空间又会产生变化的电场；这种变化的电场又会产生变化的磁场（如图 1-1 所示）。这种不断交变着的电场和磁场，越来越远地向周围空间传播，就形成了电磁波。

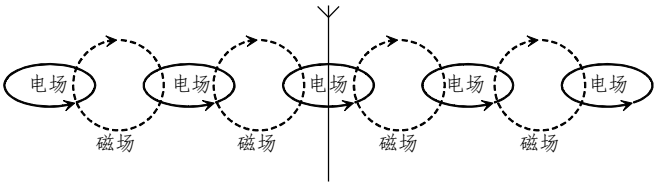


图 1-1 电磁波的传播过程示意图

电磁波的传播速度极快，在真空或空气中的传播速度和光速（用“c”表示）差不多，约为 30 万千米 / 秒。在高频振荡电流振荡一个周期的时间内，电磁场在空间的传播距离叫作电磁波的波长（用“λ”表示）。假定高频振荡电流的频率用*f*表示，则有： $\lambda = \frac{c}{f}$ 。

无线电所应用的电磁波的波长范围是很广的（从几毫米到几千米）。并根据一定的波长范围把电磁波划分为几个波段。

表 1-1：无线电波段的划分

波段名称		波长范围	波段名称	频率范围	用 途
极长波		100000 米以上	极低频(ELF)	3 千赫以下	
超长波		100000～10000 米	甚低频(VLF)	3～30 千赫	
长 波		10000～1000 米	低频(LF)	30～300 千赫	电报
中 波		1000～100 米	中频(MF)	300～3000 千赫	广播
短 波		100～10 米	高频(HF)	3～30 兆赫	电报、广播
超短波		10～1 米	甚高频(UHF)	30～300 兆赫	广播电视导航
微波	分米波	10～1 分米	特高频(UHF)	300～3000 兆赫	电视雷达导航
	厘米波	10～1 厘米	超高频(SHF)	3～30 千兆赫	电视雷达导航
	毫米波	10～1 毫米	极高频(EHF)	30～300 千兆赫	雷达导航

不同波长的无线电波具有不同的传播特性，其用途也各不相同（参见表 1-1）。不同波长的无线电波具有不同的特性。例如中波基本上是沿地表传播，受地面的吸收作用，使中波的传播距离受到限制。但中波的信号稳定，多用于省市以内较近距离的无线电广播。短波的传播主要靠地面和天空中电离层之间的反射，虽然信号没有中波稳定，但传播距离远，多用于国际间的无线电广播。超短波能够穿透电离层而不被其反射，与光线的传播性质相似，主要用于电视、雷达和近距离通讯。

我们已经知道，无线电发射靠的是高频振荡电流。那高频电流又是怎样产生的呢？

产生高频振荡电流的电路叫作高频振荡电路，它一般是由一个线圈（用字母  $L$  表示）和电容（用字母  $C$  表示）构成的回路组成，所以叫  $LC$  振荡电路，如图 1-2（ $a$ ）所示。在电路（ $a$ ）中，电容  $C$  经由一个开关  $K$  和电池组并联，电池组向  $C$  充电。当  $C$  充满电荷时，两极板间的电场最强，其两端的电压

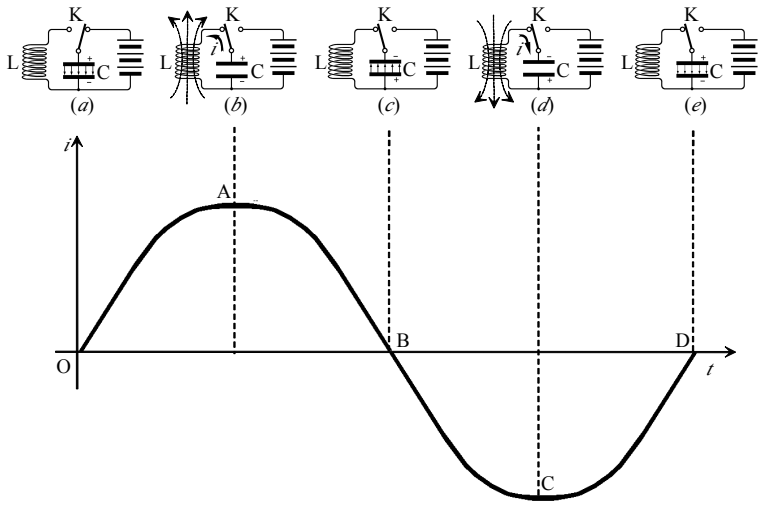


图 1-2 振荡电路中的电流变化曲线

也最大（等于电池组的电压）。这时开关没有把线圈接入，LC 回路呈开路状态，电路中的能量全部是电能。

当开关 K 扳向线圈，把电池组和电容断开，LC 就构成了闭合回路。这时电容 C 便通过线圈 L 放电，由于 L 的自感作用，放电电流  $i$  不能立刻达到最大值而只能逐渐增大。在放电过程中，电容极板上的电荷逐渐减少，电场逐渐减弱。但随着 L 中的电流增大，线圈中的磁场却逐渐加强。在 C 放电的过程中，LC 回路中的电场能被逐渐转变为线圈中的磁场能。C 放电完毕，极板上的电荷和电场全部消失，通过 L 中的电流达到最大值，电容 C 中的电场能全部转变为线圈 L 中的磁场能，如图 1-2 (b)。在此过程中形成了振荡电流  $i$  的 OA 段。

随后，由于线圈 L 的自感作用，电流到达最大值后并不立即消失，而是逐渐减小，线圈 L 中的磁场也开始减弱。磁场的变化要产生感生电流。因此电容 C 又被感生电流反方向重新充电，这时，电容极板上的电荷极性和极板间的电场方向跟以前相反。在这个过程中，L 中的磁场能又被逐渐转变成为电容器中的电场能。随着磁场的逐渐减弱，感生电流也逐渐减小。当 L 中的磁场减小到零时，全部能量返回电容 C，此时 C 极板两端的电压和极板间的电场又达到最大值，但方向和原来相反，如图 1-2 (c) 所示。于是形成了振荡电流  $i$  的 AB 段。

接着，电容器 C 又要通过线圈 L 进行放电，产生和前面放电电流方向相反的电流。放电完毕时，电路中的磁场又再一次的全部转变成磁场能。只是这时线圈中的磁场方向和图 1-2 (b) 相反，如图 1-2 (d) 所示。这个过程形成了振荡电流  $i$  的 BC 段。

而后，在线圈 L 的自感作用下，感生电流再次使电容 C 充电，线圈中的磁场能又如图 1-2 (e) 所示，全部转化为电容器的电场能，形成了振荡电流的 CD 段。这样上述电场和磁场周期性转化的过程就会反复循环地进行下去，从而在 LC 回路中

得到周期性变化的振荡电流。

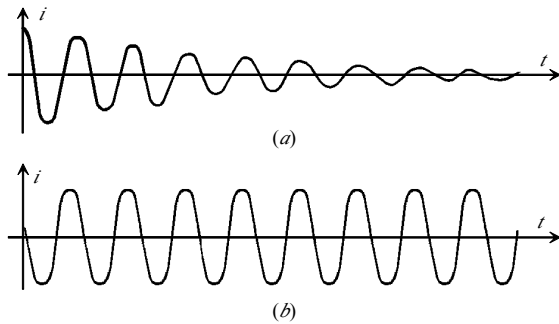


图 1-3 阻尼振荡和等幅振荡

其实，在 LC 振荡回路中，由于线圈导线中有电阻的存在，必然要引起能量损失，所以振幅（振荡电流  $i$  的最大值）会逐渐减小，最终导致停振。这种振荡被称作减幅振荡或阻尼振荡，其振荡波形如图 1-3（a）。如果能在振荡过程中适时地给 LC 回路补充能量，来补偿电路上的能量损耗，那么振幅就会保持不变。这种振幅不变的振荡叫作等幅振荡，如图 1-3（b）所示。在无线电发射技术中，所需要的是等幅振荡，这就需要不断地给振荡回路补充能量。在实际电路中的做法是，从振荡回路取出一部分振荡电流送给放大器进行放大，然后把经放大器放大的振荡电流再补充给振荡回路，就使得振荡电路能够保持等幅振荡。这种放大器和 LC 回路被统称为振荡电路或振荡器，图 1-4 就是一个振荡电路的示意图。

由振荡器产生的高频等幅振荡电流在 LC 回路中不断地使电容器 C 内的电场和线圈 L 内的磁场发生转变。由于电容器 C 极板间

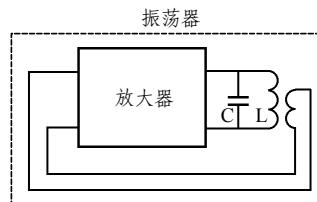


图 1-4 由放大器组成的振荡器

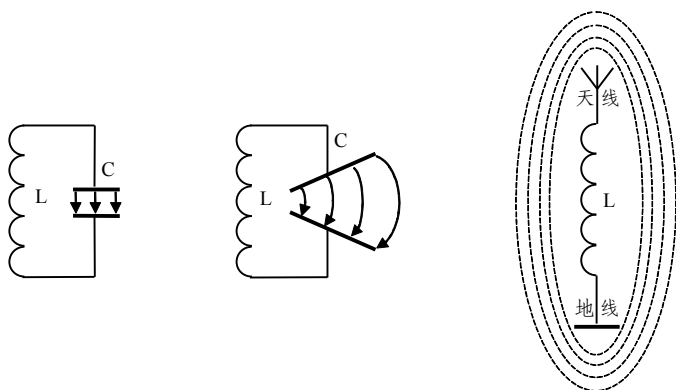


图 1-5 把 LC 振荡回路变成开放式电路

的距离很小，线圈  $L$  也绕成螺线管状，回路中的电场和磁场几乎完全集中在电容器和线圈的内部。这种振荡回路向外辐射的电磁能量极小，是不利于向外辐射电磁波的。通常把这种振荡电路叫作闭合振荡电路。

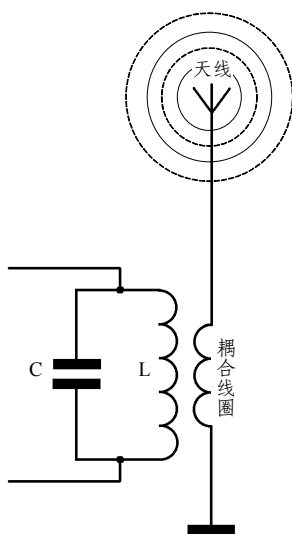


图 1-6 用耦合的开放电路发射电磁波

为了有效地发送电磁波，就要使振荡电路中的电场和磁场尽可能地分布到周围空间，这就必须对闭合振荡电路加以变化。把电容器的极板尺寸加大，并把极板间的距离也相应变化和增大，就会使电容器内部电场向外辐射增多。如果继续变化，直至把两个极板变成两条导线，一条伸入高空成为天线，另一条埋入地下成为地线，就变成了如图 1-5 所示的开放式振荡电路。开放式电路的天线和地线之间形成的分布电容替代了原来的电

容器 C，大大地增加了电场分布的空间，电场的周围又产生磁场，磁场的周围又产生电场，于是有效地把电磁波向周围空间辐射出去。

在实际的电路中，开放振荡电路的线圈是和闭合电路的线圈绕在一起的。如图 1-6 所示。振荡器 LC 闭合回路当中的振荡电流能有效地耦合到开放式电路的耦合线圈内，使得开放电路的线圈内产生同频率的振荡电流，这一电流被传送到天线，就向四周的空间发射了电磁波。

## 2 无线电波的调制

理论和实践证明，只有无线电波的波长和发射天线的尺寸相差不多时，才能有效地向外发射。说话的声音、演奏的音乐是声波，它们的频率在  $20\text{Hz} \sim 15000\text{Hz}$  之间，波长大约为  $15000\text{KM} \sim 20\text{KM}$  之间。可见要想制造这样高大的天线是根本不可能的。虽然音频信号可借助空气传向四周。但声波的传播距离很近，在距声源稍远的地方就听不到了。把声音的变化转变成相对应的电信号（称为音频信号）虽然能够用导线传向较远的地方，但因频率过低而不能用来进行发射。而高频率的无线电波在空间却可传播得很远很远。如果能将高频信号作为运载工具，把音频信号装载在高频信号上，就能把音频信号通过空间传向远方了。

在无线电技术里，把载运音频信号（或其它低频信号）的高频无线电波称为载波。把音频信号（或其它低频信号）加载到高频无线电波的过程叫作调制。没有加载音频信号（或其它低频信号）的无线电波称为等幅波，加载音频信号以后的无线电波被叫作调制波。用来调制载波的音频信号也叫作调制信号。

无线电广播中采用的调制方式一般是用音频电流去调制高频电流的振幅，也就是使载波的振幅随着广播的语言、音乐等音频信号的变化而变化。这种调制方式叫作调幅。被调制后的

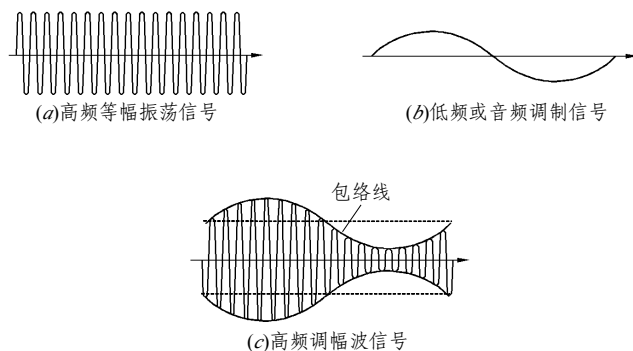


图 1-7 调幅波的示意图

无线电波被叫作调幅波，其调制原理和波形如图 1-7 所示。图中的 (a) 表示未调制前的等幅波，(b) 表示音频调制信号，(c) 表示被调制以后的调幅波。从图中可以看出，调幅波振幅的包络线（即振幅变化的轨迹）与音频调制信号完全一样。

除调幅以外，无线电广播采用的调制方法还有调频，它是使载波信号的频率随着调制信号的幅度发生变化。当调制信号为零时，载波信号的频率为一个定值，被称作调频信号的中心频率。调制时，这个中心频率随着调制信号的幅度发生偏移，如图 1-8 所示。在调频波中，既反应了调制信号正负的变化，

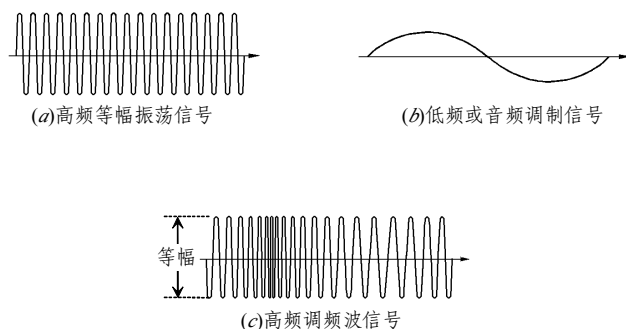


图 1-8 调频波的示意图

也反应了调制信号振幅的变化。从图中还可看出，调频波是等



幅波，不管中心频率怎样偏移，它的振幅都不改变。由于调频波的抗干扰能力强，频带宽，被广泛地应用于电视（伴音）和广播。

由此可见，广播电台的广播过程就是一个调制和发射无线电波的过程。图 1-9 是一个调幅广播电台的示意图。从图中看

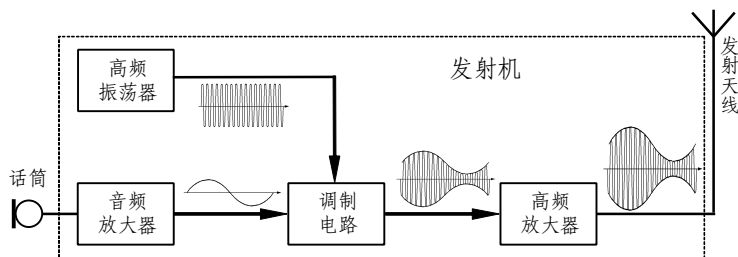


图 1-9 调幅波的发射过程示意图

出，广播节目的声音通过话筒或录音机变成音频信号，然后被送入音频放大器进行放大，经过放大的音频信号和高频振荡器产生的高频载波一起又被送入调制电路中，在调制电路的输出端就得到了被调制的高频调幅信号。高频调幅信号再经高频放大获得足够的强度后，耦合到发射天线向外发射出去。

### 3 无线电波的解调

解调和调制的过程正好相反。在无线电技术中，把调制信号加载到载波信号上的过程叫作调制，把调制信号从载波信号中分离出来叫作解调。调幅波的解调被称为检波，调频波的解调称为鉴频。

检波是由检波器来完成的。图 1-10 是检波器的输入信号和输出信号的波形图，高频调幅信号输入检波器后，在输出端即可得到还原出的音频信号。

检波器一般由二极管（也有用三极管的）、电阻和电容等元件构成的电路组成，也叫作检波电路。它是利用二极管的单向

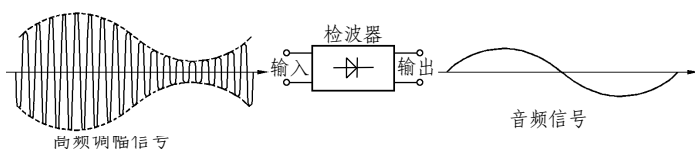


图 1-10 检波器的输入波形和输出波形

导电的特性或非线性特性来实现的。高频调幅波经过二极管后，就变成了具有调制信号低频成份的波形，用电容等元件把剩余的高频部分滤掉，就得到了原来的调制信号。有关检波的详细原理，将在后面介绍。

调频信号的解调过程比检波复杂，一般要分两步进行。第一步是先将等幅的调频波变成幅度随频率变化的调幅波，使其幅度的变化规律和频率的变化规律相同（也就是和调制信号的大小变化规律相同），第二步再从调幅波中解调出低频信号。在本书介绍的制作中没有涉及到调频收音机和调频信号的解调，故未把鉴频作为详细介绍，对此感兴趣的读者可参考其它有关书籍。

## 4 无线电波的接收原理

通过前面的学习已经知道：无线电广播时必须用音频信号去调制高频载波，然后通过发射天线把经过调制的高频电波发射到空间去。对于无线电接收设备——收音机来说，则要求能从空间众多的电台信号中把所需要的电台信号选择接收下来，并把它还原成声音。天线从空中感应接收下来的高频信号是非常微弱的，在收音机中还需要把选择接收到的高频信号进一步放大。放大后的高频信号还要进行解调，使之还原成音频信号，然后再对音频信号进行放大，使音频信号达到足够的强度后再去推动扬声器发出声音。

收音机是怎样从众多的电台信号中选择电台的呢？要弄清这个问题需要搞清楚什么是电谐振。

前面介绍振荡电流是怎样产生的时候，曾讲过 LC 振荡回

路。当 LC 回路中的电容充满电荷后，就会产生电场能和磁场能的连续转换，从而形成所谓的振荡。电场能和磁场能每转换两次就形成了振荡电流的一个周期（参见图 1-2），振荡电流每秒变化的周期数就叫作振荡频率。由于振荡是电容 C 向 L 放电，L 内的感生电动势又向 C 反向充电形成的，所以振荡的周期和电容充放电的时间有关。电容 C 越大，线圈 L 的电感越大，电容充放电的时间（振荡的周期）越长；电容 C 越小，线圈 L 的电感越小，电容充放电的时间（振荡的周期）越短。也就是说，LC 越小振荡频率就越高，反之振荡频率就降低。一个 LC 振荡回路，只要 LC 的数值一经确定，它的振荡频率就是固定不变的。在电子学中，把某个 LC 回路能够产生振荡的频率称为这个 LC 回路的固有频率。

在图 1-11 所示的电路中， $L_1$  和  $L_2$  是绕在同一螺线管上的两个线圈，它们之间的距离很近，通过  $L_2$  的交变电流产生的磁场也会通过  $L_1$ ，并在其中感应出和  $L_2$  频率相同的交变电流。当把  $L_2$  的两端分别与天线和地线连接的时候，天线接收下来的各个电台不同频率的高频信号就会在  $L_2$  中产生出和各个电台同频率的感生电流。这个

电流也会感应到  $L_1$  中。由天线接收到的电台信号是很微弱的，感应到  $L_1$  中的电流也很微弱。假如某电台的信号频率刚好和  $L_1C$  回路的固有频率相同，则该电台在  $L_1C$  回路中产生的感生电流就会增强数十至数百倍。这一现象被称为电谐振。电谐振时感生电流增强的倍数，被叫作该 LC 回路的 Q 值。如果某电台的谐振电流比其它不谐振电台的感生电流大出 Q 倍，就很容易把谐振电台的信号从众多的电台信号中挑选出来。

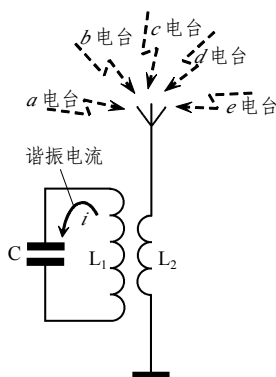


图 1-11 电谐振的原理

在实际的选台电路中，每个电台的频率是固定不变的。为了使 LC 谐振回路能够产生不同的固有频率来和不同的电台信号谐振，需要改变 LC 的数值才能实现。在实际的收音机电路中，多采用改变电容 C 的方法来实现谐振。图 1-12 是一个收音机的实际选台电路（也叫作调谐回路），它和图 1-11 的电路完全一样，只是把电容 C 变成了可变电容器。可变电容的容量是可以改变的，旋动可变电容的旋柄改变其容量时，LC 回路的固有频率就发生改变。当固有频率与需要选择的电台频率谐振时，在可变电容 C 的两端就可把强于其它电台信号 Q 倍的谐振信号取出来。取出的谐振信号，可直接经检波后推动耳机发声，也可送到下一级电路中进行放大。

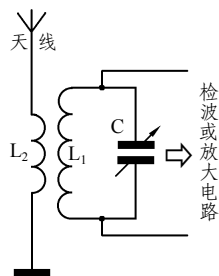


图 1-12 收音机的调谐回路

由电谐振的原理可知，谐振回路的 Q 值越高，谐振信号越强，收音机选出所要的信号越容易（叫作选择性强）。Q 值和 LC 回路中的损耗电阻有关。主要决定于谐振回路线圈 L 自身的直流电阻和与其并联电阻的大小，这些电阻越小，Q 值越高。所以绕制线圈的导线越粗越好。但线圈中流过的是高频电流，高频电流流经导线时在电场的作用下只在导线的表面流动（即

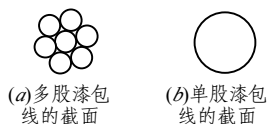


图 1-14 多股线总表面要大得多

所谓的趋肤效应)，为了在不过分增大线径的前提下增大导线的表面（截面周长），调谐回路的线圈往往采用的几根互相绝缘的多股漆包线绕制。图 1-14 为多股和单股漆包线的截面，显见，多股漆包线总的截面周长要比单根相同直径的漆包线大得多。为了减小 L 的并联电阻，有的调谐回路往往不把天线、检波或放大电路并联在调

谐回路上，而是采取如图 1-15 所示的方法，加绕两组线圈  $L_2$  和  $L_3$ 。 $L_1$  和  $L_2$ 、 $L_3$  都绕在同一螺线管上，当  $L_1C$  回路发生谐振时，在  $L_3$  中就可感应出相应的电台信号。由于  $L_3$  的圈数比  $L_1$  少，又没有直接和  $L_1C$  调谐回路并联，就大大减小了调谐回路的并联电阻，提高了 Q 值。

由调谐回路选择出需要的信号，可直接送至检波器解调出音频信号，也可经过高频放大后再去检波。未经放大直接检波出来的音频信号还很微弱，只能

带动灵敏度高的高阻耳机发声。要想使音频信号带动扬声器发出声音，还需对音频信号进行放大。

检波和放大由晶二极管和三极管担任。有关晶体管检波和放大的原理将在后面介绍。

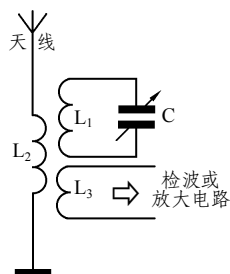


图 1-15 另一种调谐回路