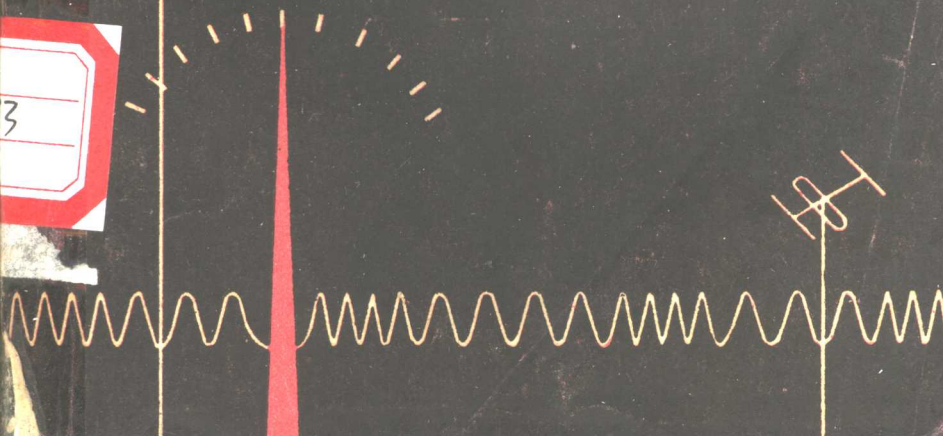




超短波调频广播

吳 云 舒 編 著

人民邮电出版社出版



內 容 提 要

这本小册子通俗地介绍了超短波調頻广播的常識，如什么是調頻；它的最基本的原理；发送和接收的基本过程；超短波調頻广播有什么好处等。最后还介绍了几架簡單調頻調幅两用收音机的实例，供业余无綫电爱好者参考。

超 短 波 調 頻 广 播

編著者：吳 云 舒
出版者：人 民 邮 电 出 版 社
北京东四6条13号
(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号)
印刷者：北 京 印 刷 厂
发行者：新 华 书 店

开本787×1092 1/32 1960年3月北京第一版
印張3 16/32 頁數56 冊頁1 1960年3月北京第一次印刷
印刷字數 82,000字 印數1—8,500册

統一書号：15045·总1129—无303

定价：(9) 0.40 元

目 录

(一) 超短波調頻广播是什么?

1. 振动、波和无綫电波..... (1)
2. 无綫广播的过程..... (11)
3. 調制(調幅、調頻和調相)..... (13)
4. 为什么中波和短波广播都是調幅的?..... (23)
5. 各种波长的无綫电波的傳播特点..... (23)
6. 中、短波調幅广播和超短波調頻广播的比較..... (36)

(二) 調頻广播的发送过程

1. 用电抗管产生正弦調頻振荡..... (42)
2. 使脉冲調相振荡变成正弦調頻振荡..... (51)
3. 超短波发射天綫..... (55)

(三) 怎样接收調頻广播?

1. 調頻檢波的方法..... (65)
2. 接收調頻信号的方式..... (73)
3. 超外差調頻收音机的超高頻通路..... (84)
4. 調頻接收天綫..... (96)
5. 調頻收音机綫路实例..... (101)

(一)超短波調頻广播是什么?

1950年1月,北京調頻广播台曾經开始試驗播音,国内其它几个大城市也正在积极从事調頻台的筹建工作。不久以后,超短波調頻广播就会在国内大大发展。此外,电视台的伴音也都是用調頻方式播送的。所以,超短波調頻广播是什么;它同目前普通采用的調幅广播相比,有什么优、缺点;为什么要采用它;这种广播方式是怎样进行的;用什么工具和方法才能收听;这些問題都是广播听众,尤其是广大无綫电爱好者想了解的。因此在这本小册子里,作者企图用比較通俗的形式解释一下这些問題。由于調頻广播和調幅广播既有彼此互异的特点,但也有它們共同的基本方面,而且只有在理解了这些基本道理以后,才能够进一步去探討它們的各自特点,因此准备先談一下跟无綫电广播有关系的一些基本問題。首先从无綫电波是什么东西开始。

1. 振动、波和无綫电波

无綫广播的基本过程是将声音变成无綫电波(电磁波);从天空中传到听众的收音机里,然后在那里还原成为声音。大家也听說過,声音是一种波,无綫电波也是一种波,那末,它們是不是像水波那样的东西呢?既然同样是波,它們的确有相同的地方,但是也有完全不同的地方。

例如声波和水波传不远,无綫电波却能够传得很远。即使是嗓子特別响亮的人大喊一声,最多不过声聞几里;千百尊大炮一齐轰鸣,也不过传到
打开收音机,
能听到莫斯科的广播, 区收到从南极



那边发出的无线电报。再举一个例子，苏联宇宙火箭上的无线电信号的播送距离远达几十万公里。

下面只准备用简单的比喻来讲讲。顺便提一下，这本小册子里打了很多比方，严格说起来，它们都不是非常正确的。比喻总是比喻，它们在某些方面可能很相似，但在另外一些问题上可能是根本不能相类比的。不过，人类认识真理总是逐步达到的。眼前大伙儿先知道一些概念，以后等学到更多的数理知识以后，自然能够愈来愈彻底地明白这些事情。

振 动

波的产生是因为某些物体（或物质）在**振动**。所谓振动，就是这些物体的位置拿空间中的某一个位置作为中心，按一定规律来回变化。就拿打秋千作为例子，站在踏板上的人可以算作在振动的物体，把秋千静止时候的位置作为中心点，它一会儿荡到前面，一会儿荡到后面，这就是振动。技巧高明的人能够使这一个运动非常均匀，合乎规律——前后两个最高点一般高，来回摆一周的时间一直不变。因此他每分钟打的来回次数也一直相等，用术语来说，就是这个人打秋千的**频率**（每秒或者每分钟内的来回次数）是个不变的常数。因而他打秋千的**周期**（每打一个来回所需要的时间）也不变。

从能量的观点看来，这个人用脚一蹬，是付出了动能，他克服地心吸力往高处荡，这个过程是把动能变成位能；往回落的过程，是把位能又换成动能。假如不受阻碍的话，这种动能和位能的转换会持续下去。可是，空气阻力和吊环那儿的摩擦力都需要耗费能量才能克服。因此，为了维持这个**振动**，打秋千的人一定要经常用力蹬。

物 质 波

物质波的最简单的例子是水波（图1）。

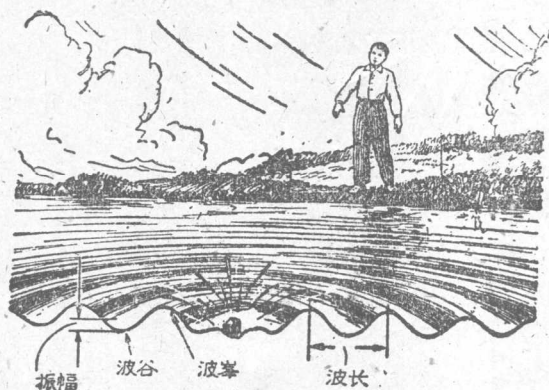


图1 水 波

向静止的水塘里丢进一块石块以后，落石点附近的那群水分子接受了石块带着的动能，往下运动。它们压迫底下一层的水分子，根据反作用定律，自然也受到向上推的力，弹了回来。由于惯性，弹上来的水分子“收不住脚”，升到比原先静止时更高的位置，也就是将动能变成了位能。可是，这个高水面不是稳定的，水分子群又往下回落，使位能回变成动能。这样，由于动能和位能的交替变换，便形成了一个振动。

水分子不像秋千架那样只有孤零零一个，在振动着的水分子群又不会绝对笔直地上上、下下，于是，最先振动的水分子群旁边的那些水分子受到影响，也照样作起这种振动来。这样一层一层地传过去，一圈一圈的水分子按着节拍上下起伏，把振动传了出去，这便形成水波。

水分子在上下起伏和推动周围水分子的时候都要消耗能量。等原来由石块传给的能量消耗完了以后，波动便停止了。不过，振动的物体如果周围没有其他用来传递波的媒质，也产

生不了波。在上面讲的例子中，如果只有孤另另的一小群水分子上下振动，也就成不了水波。

物质波的特征

从以上所说，可以看到物质波的几个特征：

(1) 物质波只在某种物体接受外界所给与的能量，开始振动以后才会发生，振动过程中間有两种形式的能量在互相变换。

(2) 物质波一定得靠着某些媒介质来传播，振动物体本身产生不了波，例如，只是秋千和钟摆的本身摆动便成不了波。

(3) 媒介质在传播过程中要消耗能量，除非有一个外界来源经常供给能量，振动才能维持下去。不然的话，物质波就会越来越弱，逐渐消减衰退，直到停止。前一种叫做**等幅波**，后一种叫**衰减波**。

(4) 另外一个使水波衰减的原因是它的扩散。水波越传到外头，它的范围越广，前一圈的水分子要去推动下一圈中数目比較多的水分子，所以外圈中每个水分子受到的力会小一些。这种减弱现象逐步显著，最后便会使水波消退。

(5) 水波的最高点叫做**波峰**，最低点叫**波谷**。对于一定振动形式的波说，每两个波峰或者波谷之间的距离是相等的，这段間距叫**波长**。前一个波峰出现时刻到后一个波峰出现时刻之間的一段时间（也就是看起来波峰前进一个波长的距离所需要的时间）叫**周期**。显然，单位时间（一秒钟或者一分钟）之内所包括的周期数——也就是周期的倒数——就是**频率**。这个关系可以用下式来表示：

$$\text{频率}(f) = \frac{1(\text{分或秒})}{\text{周期}(T)} \quad (1)$$

另外，频率乘波长就是单位时间内波的前进距离，因此就是波

的速度，简称**波速**。这一个关系的表示式是：

$$\text{波速}(V) = \text{频率}(f) \times \text{波长}(\lambda) \quad (2)$$

上面这五点可以帮助理解无线电波的特征。不过，千万不能认为，无线电波和水波是差不多的东西。它们之间是有本质差别的。简单一点说，水波是一种物质波，它靠着水分子的振动来传递；**无线电波**是一种**能量波**，它由**电磁振荡**（**电能和磁能互相变换的一种振动**）产生，依靠**电力场**和**磁力场**的相互作用来传递。为了说明能量波是怎么回事，还得稍为扯远一些。

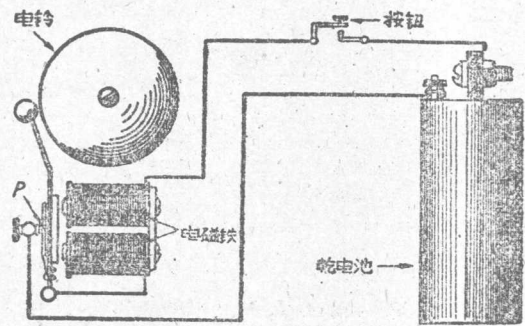


图2 “电动生磁”

“电动生磁，磁动生电”

大家从初等物理里知道，咱们日常生活里碰到的一些电气用具具有许多是靠着**电磁感应作用**来工作的。电磁感应作用可以归结为“**电动生磁，磁动生电**”这八个字。流动着的电必定在它的周围产生磁场。电铃就是靠线圈里流过电流，才能产生磁性，吸动铃槌的（图2）。电动机（马达）也是靠着这种电流产生的磁力来工作的。另外，“磁动”也必定在邻近的导体里激生电动势（图3）。

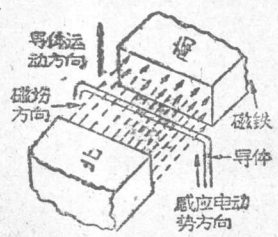


图3 “磁动生电”

这里提一下“力場”这个概念，所謂力場是指力所作用的場所，在理論上讲起来，力会达到无限远的地方。实际上，某一力的有效作用范围是有一定区域的。某一磁力的作用范围就叫**磁力場**，简称**磁場**。另外，大家一定知道同性电荷相斥、异性电荷相吸的事实，这是因为电荷或带电的物体周围都有“电力”。这种电荷的作用范围叫**电场**。电磁感应作用所以会出现，是**电力場**和**磁力場**相互作用的结果。所以“**电动生磁，磁动生电**”这句话更准确些說，应该改成：“**交变电場产生交变磁場，交变磁場产生交变电場**”。

电 振 荡

方才举的都是单方面的电动生磁或者磁动生电的例子，现在来看一下这两个过程替换着发生的情况。这就是无线电波的产生基础——电振荡。

接触过无线电的讀者都知道，一个电容器和一个线圈并联起来构成回路，加上适当电动势（外界能量），便会发生**振荡**现象，就是說有一个**电振荡**在电容器和线圈之間产生了。

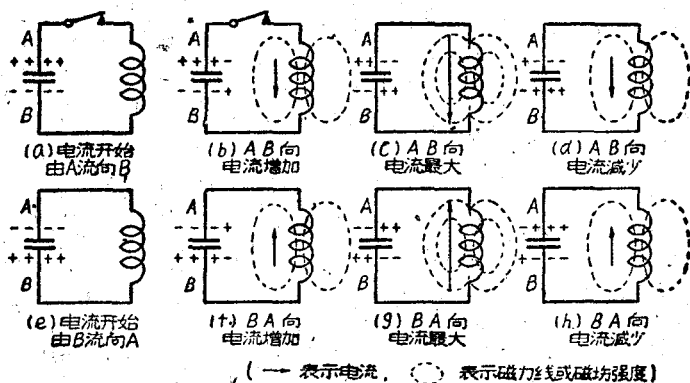


图4 电磁振荡的产生

电振荡是电子群在这种**振荡**（諧振）迴路里面的波动，从性质上說是一种物质波。它的形成可以这么来解释。

假定由于某一外力（电动势）作用，电容器的A片上已经充了很多正电荷，达到最大正电位（图4a）。电容器和线圈的迴路一接通，这些正电荷便流向线圈，形成电流（图4b）。线圈里面的电一“动”，便会引起“磁动”，这个“磁动”又必然在线圈本身里面引起“电动”。根据俄罗斯科学家楞次发现的规律，线圈里的“磁动”和“电动”总是企图反抗电容器所造成的“电动”，想恢复原来的平衡状态的。因此，迴路里流通的电流是逐渐增强，而不是一下子就达到最大值的。

哪一种运动形态都牵涉到能量的变换和增减，这儿自然也不例外。电容器的A片在原先充电的时期积蓄了很多**静电能**，随着电荷的流出，蓄积的静电能逐渐减少（它的标志是片上的电位逐渐降低）。假设迴路里没有消耗能量的电阻分量，这些静电能不会消逝掉，那末，它们上哪儿去了呢？

原来，这些静电能在引起“磁动”的时候，都移轉成为蓄留在磁场里面的**磁能**了。这就跟秋千蹬板从前面最高点落下来的时候，秋千原来蓄积起的位能变换成动能一样。电磁过程中的静电能和力学中的位能相当，磁能和动能相当。从这两个对应点出发，下面的过程便比较容易理解了。

当A片上的电位降低到零的时候，电容器两片之间的电位差消失。它们已经恢复到原来的平衡状态（图4c），事情好像就算完了？可是，别忘了这时迴路里还通着电流，而且正是最大的时候。要让这股电流一下子就停住，变成零，除非另加外力。迴路本身非但没有截止电流的力量，相反地，却有帮助它继续流动的倾向。

刚才说过，线圈的磁场在陆续蓄积磁能。电容器上的静电

能既然已經一点不剩，磁場里的磁能不用說正是最多（因为电流达到最大）的瞬間。跟打秋千的情况比較一下，就是在蹬板从前方蕩回到中点的时刻。这时秋千的动能和速度最大（从这儿看来，速度和电流相当），位能是零。假如沒有外力，蹬板受着积累下来的动能的驅使（也就是慣性），向着后方最高点前进，速度渐渐变慢，在这一过程內把动能变换成位能。相似地，綫圈里的磁能也将使电流“收不住脚”，继续循着原来方向流动，但是流量会逐渐减少，磁能也逐渐变换回靜电能。

本来，在电流和磁場最强的时刻，电容器上的电动势已經 是零了，电流既然失去了“动力”，似乎應該馬上消失，但是它从最大值减小的当儿，磁場也减弱，就是說磁場向反的方向变动了。这个“磁动”当然也会产生“电动”，也就引起一股和迴路中原来的电流方向相同的电流。換句話說，由于楞次定律的作用，迴路中的电流不是馬上停止，而是慢慢减小的。結果，一方面迴路电流只能慢慢下降，另一方面磁能也逐渐变换成靜电能，使电容器的B片充上正电。跟它相对，A片上的电位变成負的了，因为它在到达平衡状态以后继续被迫送出正电荷（图4d）。

随着电流的逐渐减少到零，磁能也全部变换成靜电能，这时B片到达最正的电位（图4e）。这个再度出現的平衡点会不会結束一切呢？

还是不会。因为B片上的电荷是被磁場的变化驅策过来的，电流一降到零，磁場的約束虽然解除，可是迴路还通着，B片上的正电位便会让片上的正电荷流向A片。于是，上面所讲的过程便再度重复，只是方向換了一下，正像秋千蹬板蕩到后方最高点以后，会在回过来向前蕩的过程中重复位能和动能的变换一样。

后面不少地方还将谈到电振荡，这里只再说明三点：

(1) 数学推演证明，这种电振荡的形状（振幅随着时间的变化）是符合正弦规律的。

(2) 上面所提起的电流从A片或者B片流到线圈，并不是说有某些自由电子真真从A片或者B片流出，经过线圈，流到B片或者A片。实际上，电流波跟水波差不多，是靠前一批电子的运动影响附近一批电子，逐渐扩展影响而形成的。也就是说，A片虽然的确有电子流出（或流进），B片也的确有电子流进（或流出），但是进入B片的那一批电子不一定是从A片流出的那一批，而是导体中的另一批电子。

(3) 由于回路里总是有损耗电阻的，所以假如电容器只充一次电，很明显，振了多少个来回以后，振荡的强度便会越来越弱，直到停止。这种衰减振荡当然不会有人欢迎。要想获得等幅振荡，就一定要定期加上电动势。怎样加上电动势的方法，这里不说了，因为要牵涉到振荡器、倍频器和调谐放大器。

电振荡固然是无线电波的产生根源，不过它毕竟还是一种物质波。要变成电磁波，咱们还得进一步追究一下。

辐射产生无线电波

无线电波是从天线上发出的，这一点很多人都知道，但是对于天线，大家却往往感到有些神秘。其实，天线不过是一种特殊的振荡回路，用一些特殊的线圈和电容器构成罢了（这在后面将会谈到）。从理论上说，普通的振荡回路都会发出无线电波，尽管很微弱。

要讲清楚辐射的本质是很困难

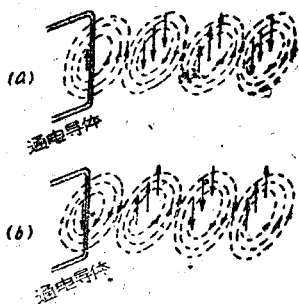


图5 无线电波的形成（箭头代表电场，虚线代表磁场）

的。这里只能简单地从一些现象上描述一下：

“电动生磁”和“磁动生电”并不限制在具体的电路内部，即使是宇宙空间那样的“真空”（实际上它还不是绝对真空），也会有这些作用。电路四周存在着的交变电场能够在它周围的空里引起交变磁场，使电能变换成磁能；这个交变磁场又引起交变电场，使电能变换成磁能。这样循环影响，电能和磁能互相变换，电场和磁场越传越远，无线电波便携带着电路传给它的能量，发射出去了（图5）。

从原则上讲，不论电流的频率是多少，电路都会发出无线电波（概括的叫法应该是**电磁波**），这一现象叫做**电磁辐射**。但是实际上频率太低，辐射不显著，等于没有；频率太高，电磁波便会起本质变化，成为热波和光波等。所谓无线电波，一般是指频率是每秒15000周到10万兆周（这段频带也叫射频）的电磁波（有些人把其中高于2000兆周的叫做微波）。热波和光波实质上也是电磁辐射的一种。为了免得搅混，这里把电磁波作为概括性的总称，把用在无线电技术里面的那部分电磁波叫做无线电波。

无线电波的基本特征

现在简单地归纳一下无线电波的基本特征（请和物质波的特征对照）。

(1) 无线电波是一种能量波，它接受电磁振荡这种物质波传给的能量以后才形成，在传播过程内，电能和磁能不断变换。

(2) 无线电波的传播不需要物质做媒介，但是能够携带着**电磁能**传到远处。它的传播速度和媒介质有关——在实际存在的“真空”里差不多是每秒钟30万公里。

(3) 由于不牵连到比较大的物质颗粒（像电子、分子之类），

无綫电波在传播过程中的能量損耗非常少，在絕對真空中沒有損耗，因此能够传得很远。

(4)物质波特征中的(4)和(5)两点对于无綫电波也适用。

讀者也許会問，为什么无綫电波不需要物质来做传播媒介？交变电場怎么能够在空間凭空产生交变磁場？交变磁場又怎么能够在空間产生交变电場？能量波会不会和某种微小的基本物质粒子有关系？传播速度为什么在一种媒质中固定不变？很遺憾，这些問題，目前是沒法彻底解答的。就是用高等数学也只能証明无綫电波是存在的和它的性质是什么，却不能够解决什么是存在的和为什么具有这些性质的問題。

已經談了不少无綫电波了，下面就先來說說无綫广播的簡單过程。有关无綫电波的其它問題以后还会碰到，尤其是第5节里将要專門解释无綫电波的传播特性。

2. 无綫广播的过程

上一节里提到，广播的最基本过程是声波→无綫电波→声波。要把声波变成无綫电波，当然先得使它变成电流波（**声頻振蕩**）。不过，这种頻率比較低的声波（一般广播电台里只传送每秒50—12000周的声波）变成的电振蕩不能造成显著的电磁幅射，能量只能在电路里传来传去，跑不到空間里去。所以另外想了一个办法——把另一个射頻振蕩（譬如說，中央人民广播电台有一个頻率是每秒640千周）跟声頻振蕩合在一起，前面一个既然能够在空間产生无綫电波，那末只要让它把后面一个带着走，声波不就給传出去了吗？这一过程叫做**調制**；所用的射頻叫做**載頻**，这一頻率的波叫**載波**；声頻振蕩习惯上叫做**調制波**（叫**調制振蕩**比較恰当）。在接收的时候，把混在載波里面的

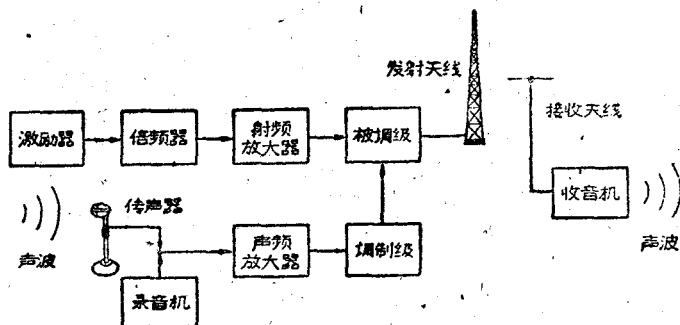


图6 无线电广播系统

声频振荡检出来（这一过程叫做**检波**或者**解调**），再还原一下，听众便能听到原来的声波了。

环绕着这样一些主要过程，还有很多辅助性过程要完成（图6）。

为了取得射频振荡，要有一个产生振荡的**振荡器**（用在电台里的一般叫**激励器**）。振荡频率如果太高了，做起来不容易，普通总是让激励器的振荡频率等于载波频率的多少分之一，然后用**倍频器**来**倍频**。另一方面，要一下子就让振荡很强烈，也是很困难的，所以得把激励器输出的比较弱的振荡放大。由于振荡频率位在可以产生辐射的射频范围内，这种用来放大射频振荡的部件叫做**射频放大器**。射频放大器分成几级，其中有一级叫**被调级**，是用来“混合”载波和调制波（声频振荡）的。

现在来看一下声频那一支路。电台里取得声频振荡的来源有两个：一个是直接用**传声器**（俗名是话筒）收受播音员或者演员的讲话、歌唱和奏乐声，并且把这些收下的声波变成电流波动（**声频振荡**）；另一种是先用**录音机**录下这些节目，然后重放出来。当然，这些声频振荡都很微弱，得用**声频放大器**放大到足够强的程度才能用。声频放大器分成好多级，最末一级叫

做**調制級**，因为从这儿送出去的声頻振蕩已經是可以起調制作用的調制振蕩了。

調制振蕩送到被調級以后，就在那里“騎上”載波振蕩，跟着它一齐在**发射天綫**上变成无綫电波，向四面八方射出去。

听众使用**接收天綫**“抓住”在天空飞驰的无綫电波，把它还原成混进了声頻振蕩的射頻振蕩，再用各式各样的收音机檢出声頻振蕩。然后把这种电流加到**揚声器**（喇叭）或者**耳机**（听筒）上，原来的声音便被放了出来，整个广播过程也就完成了。

上面談的基本过程主要是对調幅广播来讲的，但是其中大部分对調頻广播也是适用的。当然，其中某些具体实施的方法相差可大了。在說明这些差別以前，下面先来談一下有关調制的一些基本概念。这一节里还提到許多行話，以后会詳細解釋的。

3. 調制（調幅、調頻和調相）

上面已經說过，声頻振蕩要“搭乘”在載波振蕩上才能跟着变成无綫电波幅射出去。不过，这一个“搭乘”过程不像平常咱們坐火車那样簡單。从調制这一个詞儿的字面去看就会明白，声頻振蕩一定得把載波振蕩怎么“調节”一下，“制服”了它，按自己的“意願”来駕馭載波振蕩，才能达到目的。在被調級里，起調制作用的声頻振蕩正是强迫載波振蕩的形状随着自己一起变化，結果两个振蕩揉在一块儿，成了跟誰都不一样的东西，才完成了調制作用。

在第一节里談到波的时候，曾經提到过振幅和頻率。的确，不管是什么样的波、振动、还是振蕩，总得用頻率和振幅來說明它們的特征。不过，光是这两項还不够，它們离开波动来源的位置怎样，也是一个特点。为了解释这个，还得扯远一些。

波 形 图

第一节里谈到水波、声波和无线电波的时候，都讲它们在空间内运动——传播。实际上，哪一种运动都跟时间因素分不开，假使光是画出它们在空间怎样传播，很难看出时间因素的影响。

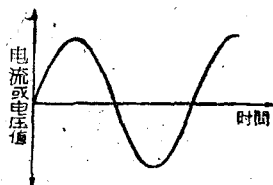


图7 最简单的波形图

为了考虑时间因素，我们常用**波形图**（图7）。在一张直角坐标纸上，用横坐标代表时间，纵坐标代表电流或者电压的数量。这样一来，什么时刻有多大的电流或者电压，都清清楚楚地表现出来了。振动和波的时间特性也知道了。

下面准备根据波形图来解释几个基本概念。先来看一下和空间振动相对应的波形图。例如在一个不停地摆动着的钟摆头上装一段铅笔芯，钟摆底下放两个卷筒，上面蒙着一卷纸。让卷筒转动，带着纸慢慢地等速移动，纸上就会留下钟摆在空间振动的轨迹——一串正弦波（图8）。

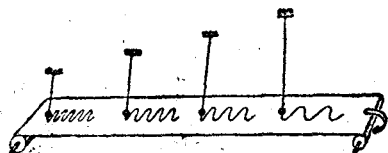


图8 钟摆振动的波形图

当然，这个还是振动，不是波。假如不让纸动，让悬挂钟摆的支点逐渐移动，纸上留下的图案会跟刚才的一样。这种情况和水波倒有些差不多。从图上可以看出，钟摆摆得越快（频率越高），纸上某一段距离内的正弦波数目也越多。

第二步来看一下跟最简单的空间波相对应的波形图。图9的实体部分画着水波怎样在水平面上从水波中心向外扩展的情况，波形图上画着水波产生以后随着时间的流逝将会怎样起变