

高級中學課本

物理学

三年級第二分冊

第六章 电磁振荡和电磁波

自从俄国物理学家波波夫在1895年发明了无线电以来,无线电技术有了飞速的发展,应用范围也日益扩大。现在,无线电通讯、无线电广播、无线电传真、电视、无线电定位(雷达)、无线电操纵等等,已经广泛地应用在国民经济上、科学研究上、军事上,以及人们的日常生活上了。



无线电技术的飞速发展,在极大程度上是由于物理学研究获得了巨大的成就;因为无线电技术是用物理学所研究的某些现象和原理作为基础的。

要了解无线电技术,必须首先了解它的物理原理。这一章里,我们就先学习这些物理原理,然后再学习一些无线电发射和接收方面的初步知识。

亚历山大·史捷潘诺维奇·波波夫(1859—1906)是著名的俄国物理学家,也是无线电报的发明者。曾经作过塔拉施塔得的水雷学校的电工教师,以后又在彼得格勒的电工学院里担任教授和院长。波波夫制造了世界上第一架带天线的无线电接收机,并且在1895年5月7日在俄罗斯理化协会的会议上作过公开表演。1896年3月波波夫在俄罗斯理化协会会议上表演了传递距离为250米的无线电报。在1899年曾经利用波波夫的无线电台来拯救遇难的军舰,这时无线电报的传递距离已经超过了40千米。

70. 振荡电路 电磁振荡 能够产生振荡电流——方向和

强度都做周期性变化的电流——的电路叫做振荡电路。

电容器和自感线圈所组成的电路就是振荡电路，这可以从下面的实验得到证实。

用电池组、电容器、自感线圈、电键和电流计连接成图139所示的电路①。先把电键 K 关在电池组 B 的一方，给电容器 C 充

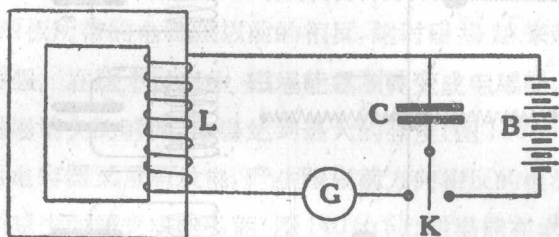


图 139 振荡电路的演示

电，然后再把电键 K 关向线圈 L 的一方，使振荡电路接通，这时就可以看到电流计的指针左右摆动，这表明电路中发生了振荡电流。电流计指针摆动若干次以后又停在零点了，说明这时振荡电流又消失了。

在振荡电路中的振荡电流是怎样产生的呢？振荡电流为什么会消失呢？现在我们就来研究这些问题。

我们可以利用图140来研究在振荡电路中产生振荡电流的情形。最初，给电容器充电，也就是给电路一定量的能（图140的1）。在电容器充电而未开始放电时，电容器里的电场最强（图140的2），这时电路中的能量全部都是电场能。

开始放电以后，由于自感线圈的作用，电流不能立刻达到最

① 做这个实验时需要很大的电容（50—100 微法拉）和很大的自感（1000—2000亨利），而电路的电阻应当很小。

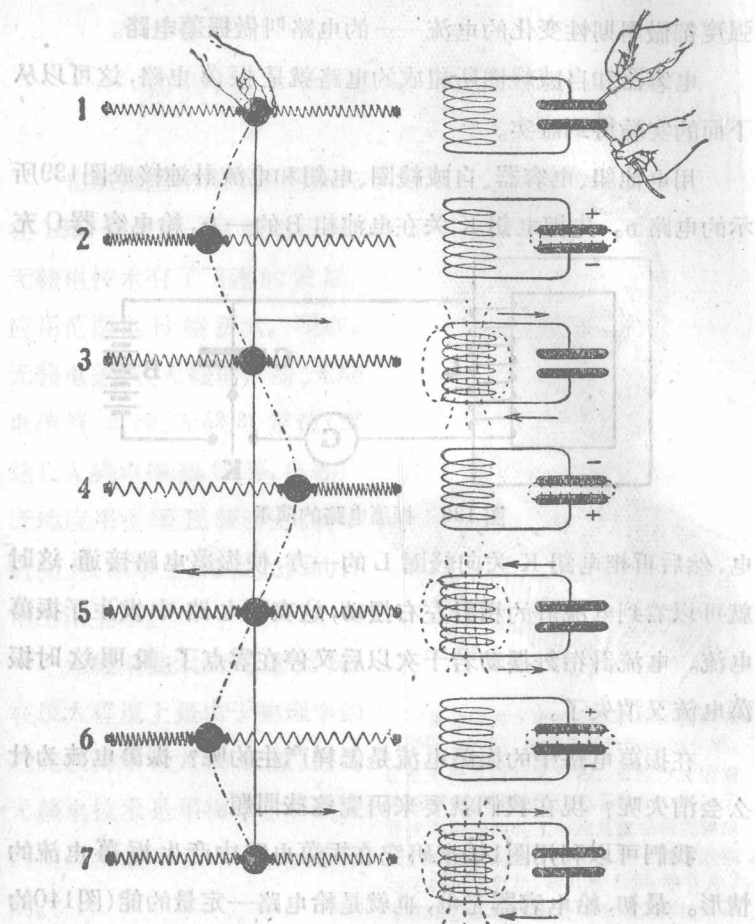


图 140

大值(第61节)。随着通过自感线圈的电流的逐渐增强,在线圈周围空间中的磁场也逐渐增强,同时电容器的电场逐渐减弱。在这个过程中,电场能逐渐转变成磁场能。

当电容器放完电的瞬间,电场消失,磁场达到最大强度(图

140 的 3)。(141 图) 磁場開始消失，根據法拉第的電磁感應定律，磁場的變化一定要引起感生電動勢；根據楞次定律，感生電動勢的方向就是阻碍磁場變化的方向。因此，雖然電容器已經放完了電，可是在電路中仍然保持有原來方向的電流。這樣就使電容器重新充電，不過兩板所帶的電都跟以前的相反，這時磁場越來越弱，電場越來越強。在這個過程中，磁場能逐漸轉變成電場能。

當磁場消失的瞬間，電場達到最大的強度(圖 140 的 4)。

然後電容器又重新放電，產生跟以前方向相反的電流，電場能又逐漸減少而轉變成磁場能(圖 140 的 5)；磁場能在電容器再度充電時又轉變成電場能(圖 140 的 6)。此後，上述的全部過程這樣地反復循環下去，在電路中就出現了振蕩電流。

振蕩電路中有振蕩電流發生時，電容器的電場和線圈的磁場都同時發生周期性的變化。這種同時存在的電場和磁場的周期性變化，叫做電磁振蕩。

電磁振蕩跟我們已經知道的彈簧的振動很相似。在這裡電場能跟磁場能的交替轉變，相當於彈簧的振動中勢能跟動能的相互轉變。

如果沒有能量的損失，電磁振蕩應該永遠繼續下去，也就是電路中的振蕩電流應該永遠存在。但是實際上電路中的能量是有損失的：一部分能量要傳播到周圍空間去(第 73 節)，還有一部分能量由於電路中有電阻而轉變為熱。這樣，電路中的能量就逐漸減少，振蕩電流也逐漸減弱，以致最後消失。

逐漸減弱的振蕩電流叫做阻尼振蕩或減幅振蕩，而強度不

变的振荡电流叫无阻尼振荡或等幅振荡(图 141)。交流电就是无阻尼振荡的例子。在无线电技术中所利用的都是无阻尼振荡。

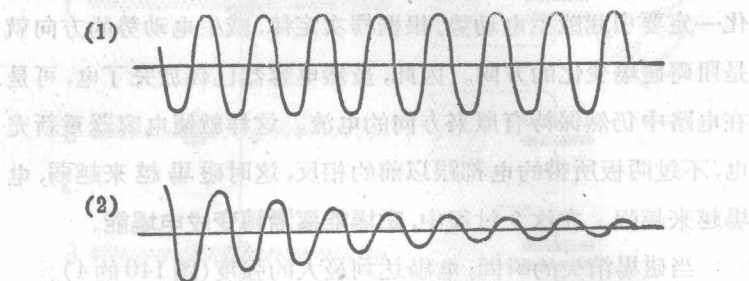


图 141 无阻尼振荡和阻尼振荡的图线

如果能够适当地把能量供给振荡电路,来补偿电路中的能量损耗,那么在振荡电路中也可以得到无阻尼振荡(跟钟上的摆的振动相似)。无线电技术中产生无阻尼振荡的装置——振荡器——就是根据这个道理制成的。振荡器的构造很复杂,在中学里我们就不学了。

71. 振荡电流的周期和频率 研究电磁振荡时也象研究机械振动那样,要常常用到周期和频率这两个概念。

在振荡电路中,通过某一点的电流,由某个方向的最大值再恢复到这个方向的最大值时,我们就说电流完成了1次全振动(或全振荡)。完成1次全振动所经过的时间,叫做振荡电流的周期;在1秒钟内完成全振动的次数,叫做振荡电流的频率。

通常,周期用字母 T 来代表,单位是1秒,频率用字母 f 来代表,单位是1赫兹(在无线电技术中也常用1赫兹的一千倍或一百万倍——1千赫兹或1百万赫兹做频率的单位)。周期和频率存在着下述关系:

$$T = \frac{1}{f}; \text{ 或 } f = \frac{1}{T}。$$

振蕩电路中发生电磁振蕩时, 如果没有能量的损失, 也没有外界的影响, 那么这样的振蕩就叫做固有振蕩。在固有振蕩时, 振蕩电路中振蕩电流的周期或频率常常叫做振蕩电路的固有周期或固有频率, 也常常简称为振蕩电路的周期或频率。

振蕩电路的周期跟哪些因素有关系呢?

理論的研究和实验都証明了, 振蕩电流的周期 T (秒) 跟电路的自感系数 L (亨利) 和电容 C (法拉) 有关系, 这个关系可以用下面的公式来表示:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}。$$

从理論上推导出这个关系式或用实验来验证这个关系式, 在中学由于数学基础不够和仪器设备有限, 都是做不到的; 但是粗淺地了解周期跟自感、电容的关系却并不困难。

电路中振蕩电流的周期跟电容的关系可以这样来了解: 如果綫圈不变, 使电容器充电到一定的电压, 那么电容器的电容越大, 它所能容纳的电荷就越多, 放完电所需要的时间和向反方向充电所需要的时间也就越长, 因而周期也越长。至于周期跟自感的关系, 那就是自感越大, 阻碍电流增强和减弱的作用就越大, 电容器放电和充电所需要的时间就越长, 因而周期也越长。

从上面的研究知道, 振蕩电路的固有周期和固有频率决定于电路中的自感和电容。因此, 适当地选择电容器和綫圈就可以使电路的固有周期和固有频率符合我们的需要。在需要改变电路的固有周期和固有频率的时候, 通常就用可变电容器(第18节)和綫圈組成电路, 当电容器的电容改变时, 振蕩电路的周期

和頻率也随着改变。

习 題

1. 振蕩电路中, 如果电容器两个极板間的距离縮小, 那么振蕩电路的固有頻率将怎样改变?

2. 由 500 微微法拉的电容器和 0.001 亨利的綫圈所組成的振蕩电路, 固有周期是多少?

3. 如果振蕩电路中綫圈的自感是 2×10^{-6} 亨利, 要使电路能够产生頻率是 7.5 百万赫茲的振蕩电流, 它的电容器的电容应该是多少?

72. 电磁波 英国物理学

家麦克斯韦所創立的电磁場理論是无綫电学的基础。由于我們的物理知識和数学知識不足, 在中学还不能深入研究这个理論, 只能初步地学习这个理論的几个重要結論。

麦克斯韦对法拉第的电場和磁場理論进行更深入的研究后指出: 任何电場的改变都要使它周圍空間里产生磁場。同样, 任何磁場的改变都要使它周圍空間里产生电場。

麦克斯韦的理論还指出, 改变的电場(或磁場)在它周圍空間里所产生的磁場(或电場), 是由电場(或磁場)的改变



麦克斯韦(1831—1879), 英国人, 十九世紀著名的理論物理学家。他严格地論証了法拉第的电場和磁場的理論, 并发展为統一的电磁場理論, 提出了有名的麦克斯韦方程。在这个理論的基础上, 他指出了变化的电場和磁場在空間中的傳播——电磁波——的速度等于光速, 在大約二十年后, 这个結論得到实验証实。

麦克斯韦在研究了电磁和光現象之間的关系后, 創立了光的电磁学說。

在分子运动論中, 麦克斯韦发现了气体分子运动速度的分布定律。

情况所决定的: 电场的改变如果是均匀的(即在相等时间内电场强度的改变相等), 所产生的磁场就是稳定的(不随时间而改变); 电场的改变如果是不均匀的, 所产生的磁场就是变化的。同样, 磁场的改变如果是均匀的, 所产生的电场就是稳定的; 磁场的改变如果是不均匀的, 所产生的电场就是变化的。

根据麦克斯韦的理论很容易想到: 如果在空间某区域中发生了不均匀变化的电场, 那么变化电场就在它邻近空间中引起变化磁场(图 142), 这变化磁场又在较远的空间引起新的变化

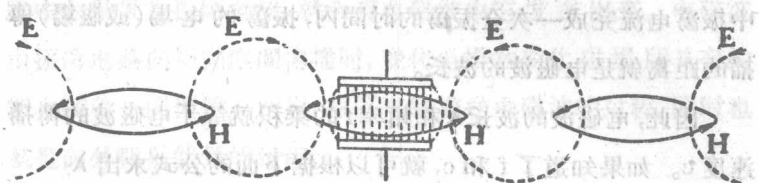


图 142 变化电场和变化磁场传播过程的示意图

电场, 接着就在更远的空间引起变化磁场……所以, 变化电场和变化磁场总是交替产生并且由近及远地向周围空间传播。

交替产生的变化电场和变化磁场由近及远的传播过程叫做电磁波。

现在我们研究一下振荡电路周围空间的电场和磁场。

第一, 振荡电路电容器的电场和线圈的磁场是变化的, 因此, 在它们周围空间里要产生磁场和电场。

第二, 振荡电路的电场和磁场的改变是不均匀的, 因此, 在它们周围空间里产生的磁场和电场是变化的, 并且是交替产生、由近及远地向外传播。

所以, 振荡电路中有振荡电流发生时, 就有电磁波由它向周

真空傳播。

电磁波的傳播速度等于光速，在真空中是 300000 千米/秒，这个量值也可以近似地当作它在空气中的速度。

我們知道，在无綫电里应用的电磁波有所謂长波、中波、短波等区别，这种区别是根据电磁波的波长不同而划分的。

什么是电磁波的波长呢？

在高中二年級学习波动的时候知道，在振动体完成一次全振动的時間内，振动在媒質中傳播的距离就是波长。同样，电路中振荡电流完成一次全振荡的時間内，振荡的电場(或磁場)傳播的距离就是电磁波的波长。

因此，电磁波的波长 λ 和頻率 f 的乘积就等于电磁波的傳播速度 c 。如果知道了 f 和 c ，就可以根据下面的公式求出 λ ：

$$\lambda = \frac{c}{f}。$$

无綫电里应用的电磁波的波长是从几毫米到 3000 米以上。通常根据波长的不同把电磁波划分为許多段。下面的表就是电磁波的波长分段表：

名 称	波 长	頻 率
长波	3000米以上	低于 100 千赫茲
中波	200—3000 米	100—1500 千赫茲
中短波	50—200 米	1500—6000 千赫茲
短波	10—50 米	6—30 百万赫茲
超短波：		
米波	1—10 米	30—300 百万赫茲
分米波	0.1—1 米	300—3000 百万赫茲
厘米波	0.01—0.1 米	3000—30000 百万赫茲
毫米波	0.001—0.01 米	30000—300000 百万赫茲

习 题

1. 在发射波长等于 3 千米和 300 米的电磁波的振荡电路里产生一次全振荡所需的时间各是多少?

2. 中央人民广播电台在广播中所用的频率有 640 千赫兹、6100 千赫兹、7500 千赫兹、10260 千赫兹, 分别算出它们的波长。

3. 某无线电收音机的收音范围由频率 12.1 百万赫兹到 150 千赫兹, 求这个收音机所能收到的电磁波的最大波长和最小波长各是多少?

73. 电磁波的发送 从上一节中所讲的我们知道, 振荡电路中如果发生振荡电流, 就会有电磁波由它发送出来。电磁波由振荡电路向周围空间传播时, 变化电场和变化磁场所具有的能也随着一同传播。所以, 振荡电路发送电磁波的过程, 同时也是向外辐射能量的过程。

但是, 由普通电容器和自感线圈所组成的振荡电路(图 143 的 1), 向外辐射能量的本领很不好。这是因为电容器的电场几乎完全包围在电容器两块极板之间, 电场能也几乎完全集中在这里; 同样, 磁场能也几乎完全集中在自感线圈内; 当电路发生振荡时, 集中在电容器和自感线圈中的电场能和磁场能, 又回授

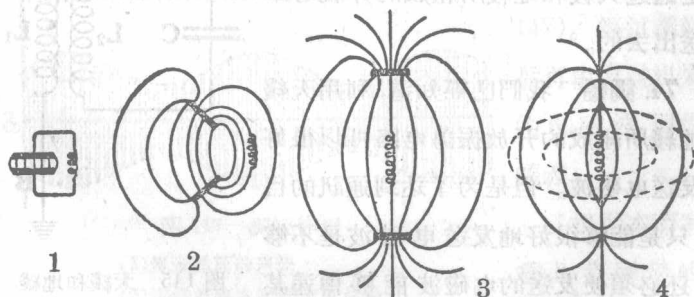


图 143 由闭合电路变成开放电路, 其中(4)是开放电路。

給振蕩电路。所以几乎沒有能量輻射出去。

由此可知,象图 143 的 1 那样的振蕩电路——通常叫做閉合电路,实际上是不能用来发送电磁波的。为了很好地发送电磁波,必須尽可能使电场能和磁场能分散在周圍空間,这就需要应用所謂开放电路(图 143 的 4)。

为了使开放电路中产生振蕩电流,常用的方法就是感应耦合方法。这个方法的要点是使开放电路中的綫圈 L_1 跟振蕩器电路中的綫圈 L_2 接近(图 144)。这样,当振蕩器中有振蕩电流时,由于 L_1 和 L_2 的感应作用,在开放电路中就产生了同样頻率的振蕩电流。

在实际应用中,又常常把开放电路的下部跟地連接(图145)。这样,开放电路在空中的一部分导綫 A 就叫做天綫,跟地連通的导綫 B 就叫做地綫。电磁波就是通过天綫和地綫所組成的开放电路发送出去的。

74. 調幅 我們已經知道,利用天綫和地綫所組成的开放振蕩电路可以很好地发送电磁波。但是为了达到通訊的目的,只是能够很好地发送电磁波是不够的,还必須使发送的电磁波能够傳遞某种信号。例如,在无綫電話和无綫电广播中所发送的电磁波必

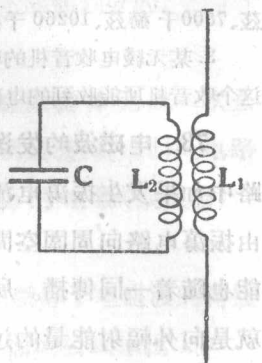


图 144 感应耦合

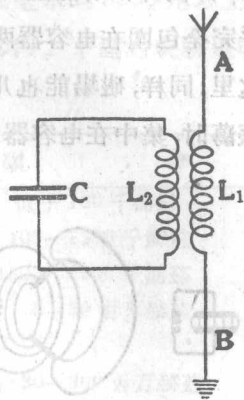


图 145 天綫和地綫

須隨聲音而改變。因此，在無線電發送機中，必須有能夠根據需要來改變電磁波的裝置，這樣的裝置叫調制器。

連接在天綫电路中的話筒就是一個最簡單的無線電話調制器(圖146)。

由聲源 S 發出的聲音使話筒的碳精薄片發生振動，薄片的振動使碳粒的接觸時松時緊，也就是使電阻時大時小。這樣，跟振蕩器耦合的綫圈 L_1 中產生的感生電動勢虽然是等幅的交變電動勢，而天綫电路中的振蕩電流的振幅却隨着聲音而改變，所發送出的電磁波的振幅也隨着聲音而

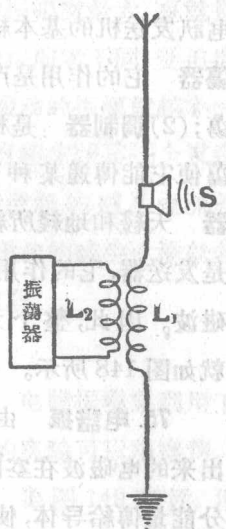
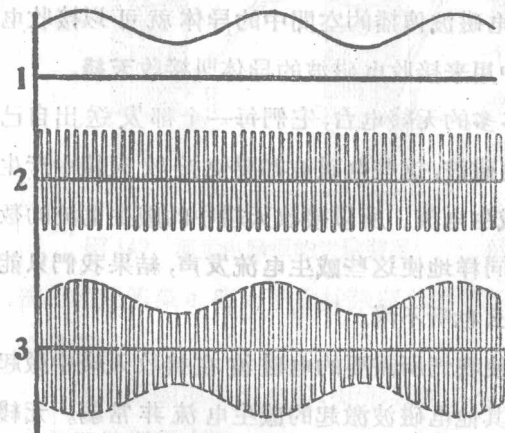


圖146 無線電話發送機



改變。

這種把等幅振蕩變成振幅依聲音而改變的振蕩的過程，叫做調幅(圖147)。經過調幅以後再由發送機發出的電磁波，叫做調幅波。

圖 147 調幅作用

- (1)傳到話筒的聲波
- (2)天綫电路中的感生電動勢
- (3)天綫电路中的振蕩電流

根據本節和以前几節所學的知識，我們知道，無線

電訊發送機的基本組成部分有三個：(1)振蕩器 它的作用是產生頻率很高的等幅振蕩；(2)調制器 是根據需要來改變電磁振蕩使它能傳遞某種信號的裝置；(3)發送器 天綫和地綫所組成的開放振蕩電路就是發送器，它的作用是向周圍空間發送電磁波。因此，整個無線電訊發送機的構造就如图 148 所示。

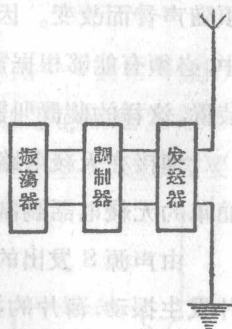


图148 無線電訊發送

75. 電諧振 由無線電訊發送機發送 机构造示意图

出來的電磁波在空間傳播時，如果遇到導體，它就把自己的一部分能量傳給導體，使導體中產生感生電流。這種感生電流的頻率跟激起它的電磁波的相同。

因此，利用放在電磁波傳播的空間中的導體就可以接收電磁波。無線電技術中用來接收電磁波的導體叫接收天綫。

世界上有許許多多的無線電台，它們每一個都發送出自己的具有一定頻率的電磁波，這些電磁波都要使接收天綫中產生跟自己頻率相同的感生電流。所以接收天綫中的感生電流的數目是非常多的，如果同樣地使這些感生電流發聲，結果我們只能聽到一片嘈雜聲，什麼也聽不清。

因此，必須設法使我們所需要的電磁波在接收天綫中激起的感生電流最強，而其他電磁波激起的感生電流非常弱。無線電技術中是利用共振現象來達到這個目的的。

在高中二年級學習聲學的時候，我們知道，兩個音叉，其中一個振動發聲時，形成的聲波就使另一個音叉做受迫振動。如

果后者的固有频率跟前者相同, 受迫振动的振幅就最大, 也就是发生了共振——共鸣; 如果后者的固有频率跟前者不同, 受迫振动的振幅就很小, 而且频率相差越多, 受迫振动的振幅就越小。

跟音叉的共振相似, 当振荡电路的固有频率跟某一个发送电磁波的振荡电路相同时, 电磁波在电路中激起的感生电流就最强——发生了共振, 如果固有频率不同, 激起的感生电流就非常微弱。固有频率相差越多, 感生电流就越弱。

电学中的共振现象叫做电谐振。

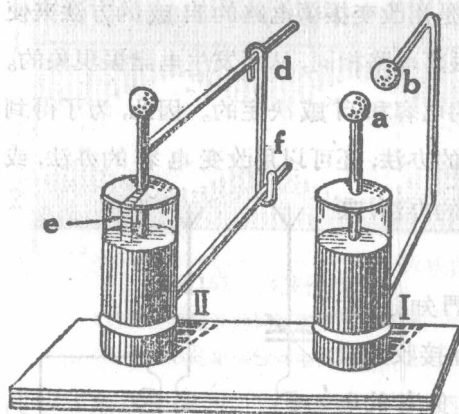


图 149 演示电谐振的实验装置

电谐振现象利用下面的实验可以观察到。

象图 149 那样, 用来顿瓶 I、矩形导线和放电间隙 ab 组成第一个电路, 另外用同样的来顿瓶 II、一边可以移动的矩形导线组成第二个电路, 在第二个电路的来顿瓶金属棍上贴一

狭小的锡箔条 e, 使 e 下垂并跟瓶外的锡箔形成约有 1 毫米间隔的缝隙。

因为来顿瓶具有电容, 矩形导线具有自感, 所以组成的两个电路都是振荡电路。

使第一个振荡电路的来顿瓶带电, 当 ab 间的电压达到一定程度时就要发生振荡放电, 这时我们可以看到 ab 间的放电火花。

移动第二振荡电路中矩形导线的可动的一边，我們可以看到，当两个矩形导线的大小相同时，第一振荡电路的放电就会引起第二振荡电路的锡箔条和瓶外锡箔间的火花放电，表明发生了电谐振。如果两个矩形导线的大小相差较大，就没有这个现象。

我們知道，两个振荡电路中的来顿瓶是一样的，因此它们的电容也是相同的；此外，当两个矩形导线的大小相同时，它们的自感也是相同的。因此，当第二振荡电路的来顿瓶上出现电火花时，也就是发生电谐振时，两个振荡电路的频率是相等的。

在这个实验里，我們是用改变振荡电路的自感的方法来使它的固有频率跟另一个振荡电路相同，从而发生电谐振现象的。振荡电路的频率是由它的电容和自感决定的。因此，为了得到电谐振，除了用改变自感的办法，还可以用改变电容的办法，或者同时改变自感和电容的办法，来达到这个目的。

根据上面所讲的我們知道，如果象图 150 中左图那样在接收天线中连一个可变电容器，改变它的电容，使接收天线的固有频率跟我們所要接收的电磁波的相同，那么这个电磁波在接收天线中激起的振荡电流最强（应当注意，只是跟其他振荡电流比是“最强”，而绝对值仍非常小），而其他电磁波激起的振荡电流非常弱。这样就收到了我們所需要的电磁波。

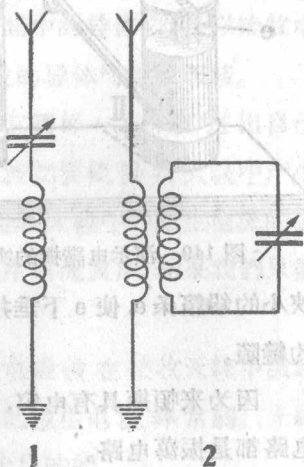


图 150

也可以用图 150 中右图所示的办法,在天线的线圈旁边耦合一个有可变电容器的振荡电路,这样也可收到所需的电磁波。

调整振荡电路,使它跟某一外来电磁波发生谐振,叫做调谐。

76. 检波 从前面所讲的知道,在无线电电话发送机或无线电台的天线中,高频振荡电流的振幅是随声音而改变的,因而发送出的调幅波在收音机接收天线中激起的高频振荡电流,振幅也随声音而改变(图 151 的 1)。

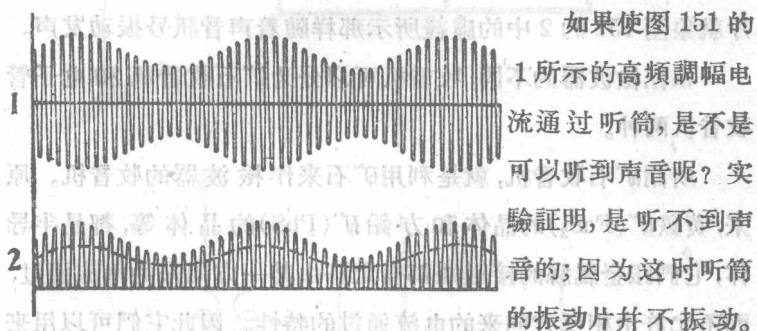


图151 检波作用

(1) 没经过检波的高频调幅振荡电流

(2) 检波后的单向脉动电流

如果使图 151 的 1 所示的高频调幅电流通过听筒,是不是可以听到声音呢? 实验证明,是听不到声音的;因为这时听筒的振动片并不振动。为什么振动片不振动呢? 从下面的分析就可以了解这个问题。假定某一个半周期电流的作用是使振动片向某个方向动,那么下半个周期电流就以几乎同样大的作用使振动片向反方向动。由于高频电流的周期非常短,半周期更短,而振动片的惯性相当大,所以,在振动片还没有来得及在电流的作用下向某一方向动的时候,就立刻有一个几乎同样大的作用要使它向反方向动,这样连续下去的结果就是振动片实际上不发生振动。

因此,为了听到声音,必须从高频调幅振荡中“检”出声音讯