

GAOZHONG WULI JINGYAO

高中物理精要(四)

○ 王惠和 主编

中国青年出版社

高中物理精要

(四)

王惠和 主编

中国青年出版社

高中物理精要（四）

王惠和 主编

中国青年出版社出版 发行

海丰印刷厂印刷 新华书店经销

787×1092 1/32 8 印张 150 千字

1991年3月北京第1版 1991年3月北京第1次印刷

印数1-12,000册 定价3.00元

出版说明

本书是为了帮助中学同学和自学青年学好物理课而编写的。各册作者组成编写组，原由王惠和、朱福源、柳云蛟担任主编。根据教学大纲要求，全书原来分成15个分册，叫《中学物理小丛书》。其中《静力学》、《运动学》、《动力学》、《圆周运动和万有引力》、《功和能》、《动量》6个分册曾单本出版过，读者反映很好，认为这套书有特点，能帮助复习、巩固课堂知识，开阔视野，扩展深度和广度。但也反映单本不易买齐。根据读者意见和要求，我们对内容作了某些改动，定名《高中物理精要》，并将已出版和未出版的15个分册合并成(一)、(二)、(三)、(四)4册出版，以满足广大读者要求。

前 言

物理学是中学一门重要的课程。为了帮助中学同学和同等程度的自学青年学好这门功课,我们计划编写一套《中学物理小丛书》。目的是想帮助读者在课堂学习的基础上继续自学,比较系统地复习、巩固物理学知识,加深对物理学基础知识正确理解,并且适当地开阔眼界,扩展深度和广度。

中国青年出版社支持我们的计划,并和我们反复讨论了具体的编写方案。

为了编好这套丛书,由王惠和同志负责联系和召集,我们成立了《中学物理小丛书》编写组。编写组的成员是:朱福源、李安椿、王惠和、钟振炯、柳云蛟、瞿东、陈岳、马国昌、陈晋,共九人。

小丛书根据教学大纲共分十五册。朱福源、柳云蛟、王惠和三位同志任主编,负责草拟编写提纲和全面审阅各册手稿。各册虽是分工执笔,但是在整个编写过程中全组同志相互反复磋商、提供有益意见或协助校阅、誊抄等工作,各册字里行间都倾注了同志们的汗水、辛劳。

编写组的同志都是从事中学物理教学多年的教师,懂得课外读物对学生的重要作用,力求把小丛书编好,写得更加通俗一些、生动活泼一些、启发性更强一些,符合读者的实际需要。

要。但是，在着手编写的过程中，我们深感水平有限，书中不足之处在所难免。编写组全体同志恳切希望广大读者提出批评和指正。

目 次

一 电磁振荡.....	1
振荡电流和振荡电路(1) 电磁振荡的产生(2) LC 振荡曲线(4) 无 阻尼自由振荡和阻尼振荡(5) 阻尼自由振荡(6) 振荡回路的周期和 频率(7) 受迫振荡、电谐振(8) 串联谐振电路的选择、品质因数(12)	
二 晶体管振荡器.....	16
LC 振荡器(16) 晶体管振荡器的电路分析(19)	
三 电磁场.....	21
交变电场和交变磁场的相互联系(21) 电磁波、电磁波的发射(22) 赫 兹实验(24) 电磁波谱(26)	
四 无线电的应用.....	30
无线电通讯的基本原理(30) 最简单的收音机(31) 无线电技术的重 要应用(35)	
五 电子技术基础.....	41
半导体(41) PN结和晶体二极管(45) 晶体二极管的整流电路(50) 滤波电路(57) 晶体三极管(63) 晶体管收音机简介(75) 电子器 件的发展(77)	

一 电 磁 振 荡

振荡电流和振荡电路

我们在第十二册《电磁感应和交流电》中知道：“如果在某个电路中存在大小和方向都作周期性变化的电流，这种电流就叫做交流电。”事实上在无线电和电子技术上应用的就是一种高频率的交流电，通常把它叫做振荡电流。这两者之间又有什么严格的区别呢？先从振荡电路谈起。

振荡电路 如图1，把一个自感线圈 L 、一只电容器 C 、一只单刀双掷开关 K 和一个电池组 E 用几根导线组成一个电路。可以使这个电路在一定条件下能够对电容器或自感线圈进行周期性的充电或放电。也就是在这个电路中存在的电场能量和磁场能量相互间进行着周期性的变换。把这种能量变换的过程叫做电磁振荡。这个电路就叫做振荡电路。由于组成电路的主要元件是自感线圈 L 和电容器 C ，因此通常就叫做 LC 振荡电路。它是产生正弦波最常见的线路。

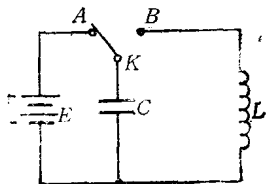


图1 LC 振荡电路

电磁振荡的产生

我们就图 1 的 LC 振荡电路来进行讨论。

首先,得有一个为电容器 C 充电的过程。如图 1 当电键 K 与 A 点接触时,电源 E 与电容器 C 形成了一个闭合回路。经过了不太长的时间,由于电源的电场力做功,在充电过程中使电容器 C 的两个极板上分别带上了等量的正、负电荷 $+Q$ 和 $-Q$ 。当对电容器 C 完成充电的过程后,立即把电键 K 扳向 B 点,切断电源,形成了一个由电容器 C 和自感线圈 L 组成的闭合回路(为了使电路简化,舍弃电源部分,把图 1 改成图 2)。这时,当电容器 C 尚未向自感线圈 L 放电之前的一瞬间,如图 2 (a) 电路上还没有电流,能量全部积聚在电容器两个极板间的电场里,这时电场能量 $E_e = E$; 在自感线圈 L 上既没有电流通过,不会有磁场能,即 $E_B = 0$ 。

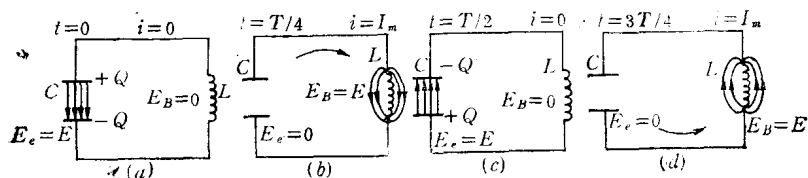


图 2 LC 振荡的能量转换

紧接着是由于在电容器 C 的两个极板上存在着电势差积聚的电场能必然要在电路上放电。当电流通过自感线圈 L 时就会产生磁场,如图 2 (b)。根据电磁感应定律可知:会在自感线圈 L 中迅速产生反抗电流增大的反电动势。在这种情况下,迫使电容器 C 两个极板上的电荷有个逐渐放电的过程。因

而在电路上的电流也就逐渐地增大到最大值 $i = I_m$ ；与此同时，在电容器 C 两个极板上电荷的电量也就逐渐地减少，最后等于零。从能量的转换过程来看，就是通过放电，把电容器两个极板上的电场能逐渐转换成自感线圈上的磁场能，即 $E_B = E$ 。

继续看上一个过程，由于电容器 C 上的电荷放电完毕，使电场能全部转换成自感线圈 L 上的磁场能以后，而问题并没有结束。如图 2 (c)，由于自感线圈 L 上储有的磁场能所起的自感作用，使电路上的电流并没有立即停止，而是逐渐减弱，并沿着原方向继续流动。因此，这时的电流却是使电容器 C 受到反方向充电的过程。于是在电容器 C 的两个极板上重新出现了电荷，积聚了电能。但在电容器上电压的极性跟原来的恰好相反。由于电荷的迁移和能量的转换，自感线圈 L 上的磁场能又转而逐渐减弱；与此同时在电容器 C 上的电场能又开始逐渐增大。等到电路中的电流 $i = 0$ ，而在电容器 C 极板上电荷的电量达到最大值时，自感线圈 L 上的磁场能又全部转移到电容器 C 上成为电场能了。

在完成了上述过程后，紧接着贮有电场能的电容器 C 又将以它的电场力作用下重新回过来对线圈 L 进行放电，如图 2 (d) 所示。

同前面所叙述的一样，在放电过程中使电容器两个极板上的电荷逐渐减少，而使电路中的电流逐渐增大。与前一过程相比较：由于极性与初始方向相反，因此，放电时的电流方向也就与初始时的方向相反了。当电容器的极板上电荷又一次

为零,而电路上电流又一次到达最大值时(即 $i = -I_m$),电场能又全部转变为磁场能了。但这时磁场的方向是跟在初始 $\frac{1}{4}$ 周时的方向是相反的。

在完成了第三个 $\frac{1}{4}$ 周期后,接着第四个 $\frac{1}{4}$ 周期又开始。同前所述,由于线圈 L 的自感作用,电荷继续流动,感生电流再次使电容器充电,磁场能又转换为电场能。周而复始,直到充电完毕,能量转换,情况就跟图2(a)时相同,回复到初始状态。

综上所述:在回路中电流如此反复循环的现象,就叫做回路中产生了电磁振荡,简称振荡。可知电磁振荡的实质是在回路中一定条件下电场能与磁场能作交替变换的过程。电路中的

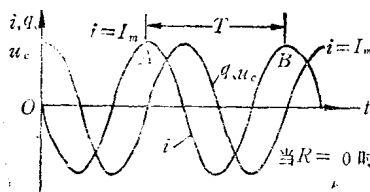


图 3 在振荡过程中 u_c 、 q 、 i 随时间变化的曲线

的电流(包括大小和方向)也是周期性的变化着,这种电流叫做振荡电流 i 。通过振荡过程,在回路两端产生的正弦交流电压叫做振荡电压 u_c ,如图 3 所示。

LC 振荡曲线

在 LC 振荡电路产生电磁振荡的过程中,可以根据电容器两个极板间的电压 u_c 、积聚在两个极板上的电荷 q 、以及在电路上的电流 i (大小和方向),使这三者之间与时间 t 的变化关系,用图3所显示的曲线加以表示出来。为了使问题简化,假设在 LC 振荡电路里的电阻值 $R_0 = 0$ 。在这种特殊条件下,电路中只有能量(电场能 E_e 、磁场能 E_m)间的相互转换,没有

能量的耗散。这样,就可以看成是等幅振荡。在这个条件下,可以用正弦函数表示它的规律性。

$$\text{即: } u_c = U_c \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$q = Q_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

式中 U_c 、 Q_0 、 I_m 分别为电容器两个极间电压、电量和电路上电流的最大值。又 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ 、 $f = \frac{1}{T}$, f 为 LC 电路自由振荡的频率。

无阻尼自由振荡和阻尼振荡

如上节所假设的,当振荡是在电路中的电阻值极为微小(可以忽略不计,即 $R=0$),而电路中又没有电动势(即 $\mathcal{E}=0$)的条件下进行;而且在振荡过程中也不受外界干扰和影响。这种理想的振荡电路,就不会引起对外界有能量的耗散。如果具备这个条件,电路中就会保持着周而复始永不停止地进行着振荡的过程。这样,电场能量和磁场能量也在交替进行着变换,而总能量就可以保持着不变。如果符合这个条件,这种振荡形式就叫做无阻尼自由振荡或叫做固有振荡。从理论上说,这种振荡的振幅也应该是永不衰减的(如图4),所以又叫做等幅振荡。

上面介绍的无阻尼自由振荡,毕竟是个设想。实际上这种现象是并不存在的。由于电路中总是具有消耗能量的电阻。因

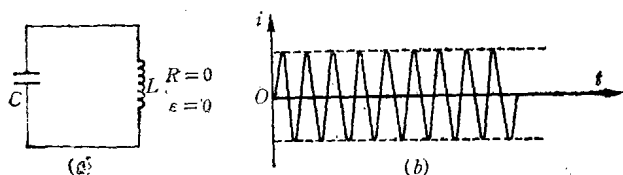


图 4 无阻尼自由振荡电路，产生等幅振荡波形

此，必然会有一部分在电路中的电、磁能量通过克服阻抗做功转变为物质的内能——焦耳热；不仅如此，当电路处于高频电流振荡时，还能够把电磁能量以电磁波（见图18）的形式向周围空间辐射出去。可以想象：在一个振荡电路中，如果没有能量的不断补给（接上电源供给能量），随着时间的推移，在振荡过程中电量和电流的振幅也将会逐渐衰减，最终趋向于消失。这种振幅随着振荡时间而不断减小的振荡，叫做阻尼振荡或减幅振荡。

阻尼自由振荡

如图 5 (a) 所示。在实际电路中由电容 C 、电感 L 和电阻 R 组成的一个振荡电路，利用外电源对电容器 C 进行充电，但在

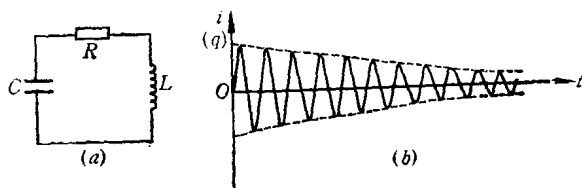


图 5 阻尼振荡电路和产生减幅振荡波形

电路中没有电动势(电路中已不再接上电源)。这种利用外接电源对电路中的电容器进行充电后,使电路中发生振荡,叫做阻尼自由振荡。在这种振荡电路中,电流*i*(或电量*q*)也进行着周期性变化,但是它的振幅是在逐渐衰减的。如图5(b)显示出电流*i*(或电量*q*)随着时间的延伸而逐渐减弱。振幅的衰减程度,取决于电路中的电阻与电感。即:电阻越大,自感越小,则振幅的衰减越快。电阻的存在不仅会影响频率的减小,在一定情况下(如: $R > 2\sqrt{LC}$ 时)电容器会产生非周期性放电而不发生振荡。可知,在实际振荡电路中不可忽视尽可能减小电阻的阻值。

振荡回路的周期和频率

让我们再看一下在图3上的振荡曲线。如果在振荡电路中通过任意指定一点的电流自某一方向的最大值(如在曲线上的*A*点位置, $i = I_m$)开始,接着从下一次开始又恢复到同一方向的最大值(如在曲线上的*B*点位置, $i = I_m$)时,这就是电流在电路上完成一次全振荡的过程。把完成一次全振荡所需的时间叫做振荡电流的周期——电磁振荡的周期。符号为*T*。在1秒内完成全振荡的次数,叫做振荡电流的频率,符号为*f*。振荡周期与频率是互为倒数的关系。表示公式为:

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T}$$

这几个物理量在振动与波及交流电等各部分是我们所熟悉的。周期的单位是秒,频率的单位是赫兹,符号为Hz。由于

无线电波的频率一般都是比较高的，常采用千赫即kHz（也有用千周kC）或兆赫MHz（也有用兆周MC）来表示。（可参阅28页“电磁波谱”一节表2）。在电视广播、雷达及无线导航等用途上，它们的频率则更高，而波长就更短，可区分为米波、分米波、厘米波及毫米波等。频率就采用兆赫（MHz）、千兆赫（kMHz）来计数了。

受迫振荡、电谐振

在阻尼的自由振荡电路中，我们已经讨论过，由于电感线圈、导线等存在电阻的原因，会使能量不断损耗。由此会引起振幅要逐渐变小。如果要获得等幅振荡，保持着振幅不变。只有采取在电路中能有一个周期性变化的电动势装置，使它起着继续不停地补充能量的作用。我们把在振荡电路中有周期性电动势继续不断作用下所产生的振荡叫做受迫振荡。受迫振荡从起始到逐步趋向稳定，有一个比较复杂的过程。但是，经过了一段时间后，就能达到一种稳定的状态。到了这个时候，就会出现一个有恒定值的振幅，而振荡的频率也正是电动势的频率。能得到一个有一定频率的等幅电磁振荡，这对于广播通讯来说是极为重要的。而受迫振荡不仅是获得等幅振荡的理论基础，还是选频的理论依据，这是在收音机电路中常会遇到的问题。

下面，讨论一个稳定的受迫振荡的问题。如图6把一个电容器 C 、电感线圈 L 、电阻 R 和电动势为 $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$ 的交流电源组成一个受迫振荡电路。如前面所提到的，在经过了一段短

促的时间以后,使振荡趋于稳定状态。这时电路上的电流为:

$$i = I_0 \sin(\omega t - \varphi) \text{ 而 } I_0 = \frac{\varepsilon_0}{Z}$$

式中 Z 是电路上的阻抗。它是

电感线圈 L 上的感抗 ($X_L = \omega L$)、电容器 C 上的容抗

($X_C = \frac{1}{\omega C}$) 和电阻 R 的总

和。由于感抗和容抗是直接相

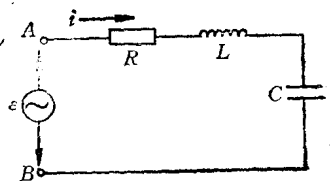


图 6 受迫振荡电路 (ε 为在电路中有周期性变化的电动势)

减的 (即 $X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$), 所以阻抗 Z 可表示为:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

根据欧姆定律, 这样可以把电流的振幅写成:

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$$

可知, 在稳定状态时, 电路中电流的振幅 I_0 与电路的阻抗 Z 成反比的关系。

由于在串联电路中, 电容两端的电压 U_C 与电感两端的电压 U_L 有相反的极性 (即 U_C 与 U_L 相差 180°)。当感抗 X_L 大于容抗 X_C 时, 电路是电感性的, 电路两端的电压超前于电流; 反之, 当容抗 X_C 大于感抗 X_L 时, 电路是电容性的, 电路两端的电压落后于电流。不论任何情况, 阻抗的数值总是:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}, \text{而位相角}$$

的正切就是: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{(X_L - X_C)}{R} = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$ 由于加在有固定值的 RLC 串联电路上的交流电压角频率 ω 决定了电路中的阻抗 Z 的大小, 即电路的电抗在高频范围内是电感性的; 而在低频范围内是电容性的。只有当感抗和容抗相等的时候, 总电压才能与电流一致。可知只有在某一个中间频率, 感抗和容抗相等而电路的电抗等于零。即: 当电源的角频率 ω 满足下述条件,

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \text{或} \quad \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

这个组合的电路不再起限制电流的作用了。这种情况恰好使电感和电容两个元件上的电压变为相等, 并超过外加电动势。也就是使两者之间完全能够相互补偿, 似乎在电路中失去了电抗。这种在外加周期性电动势持续作用下, 振荡回路里受迫振荡的电流振幅出现了到达最大值的特殊情况, 就是振荡电路中的共振现象, 也叫做电谐振(串联谐振)。由于感抗和容抗都是随频率而变化的, 所以只有在一个频率上这两种电抗才能够相等(绝对值), 成为谐振状态。发生谐振时的频率叫做谐振频率 f_0 。谐振时由于

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \text{ 即 } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

因此, 电谐振的角频率用式表示为: