



用电子钟演示电容器的电荷量与电压的关系值得商榷

唐柏忠 马婷婷

(余姚市第二中学 浙江 宁波 315400)

(收稿日期:2018-01-08)

1 引言

文献[1]中提出了用电子钟演示电容器的电荷量与电压的关系的方法。“将两相同规格的电容器分别充得不同的电压后,与同一规格的电子钟相连,当电容器放电时,通过观察石英钟的秒针转过的格数,就可以直观地显示出电容器放电前所储存的电荷量的多少,从而演示电容器的电荷量与电压的关系”。此方法感觉比较直观、简便、新颖别致,但笔者经过实验推敲,认为石英钟秒针转过的格数不能代表电容器放电前所储存的电荷量的多少,觉得这个方法存在一定问题,值得商榷。

笔者采用 $2\ 200\ \mu\text{F}/25\ \text{V}$ 的电容器,先给电容器充电,然后接入普通的石英电子钟,记录电子钟显示的秒数,再改变电压,重复实验,得到如表1实验数据。

表1 实验数据

电压/V	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
秒针显示/格	2	4	6	8	9	11
秒针显示/格	2	5	7	8	10	12
秒针显示/格	3	4	6	9	10	11
秒针显示/格	2	4	6	8	9	11
秒针显示/格	2	4	6	8	10	11
平均显示/格	2	4	6	8	10	11

实验显示,随着电压增加,秒针走过的格数增加,但没有显示两者成比例关系,也不是一次线性关系。为什么会是这样的实验结果呢?笔者分析认为

主要有两个因素,一个因素是电子钟有个工作电压,低于这个工作电压,秒针就停止转动,所以电子钟秒针显示的只是大于工作电压部分的放电情况,不能显示全部放电过程。另一个因素是电容器通过电子钟放电,可以简化成一个 RLC 放电电路,在这个电路中,电荷量不是随时间均匀减小的,而且放电持续时间主要由 RLC 电路本身电路参量决定,与电荷量的多少没有关系。基于这两点,笔者认为电子钟秒针走过的格数不能代表电容器放电前所带电荷量的多少。

2 RLC 电路的放电暂态过程分析

石英电子钟主要由石英晶振和马达线圈两部分组成,图1是电子钟的简易电路图。它的工作原理是石英晶振定时发射一个脉冲电流给马达线圈,线圈与固有的磁铁作用推动齿轮运动,进而推动钟表走动。这里集成电路消耗小部分电能,大部分电能消耗在马达线圈,所以电容器通过电子钟放电,笔者将它简化成一个 RLC 放电电路。下面讨论 RLC 串联电路的放电暂态过程。

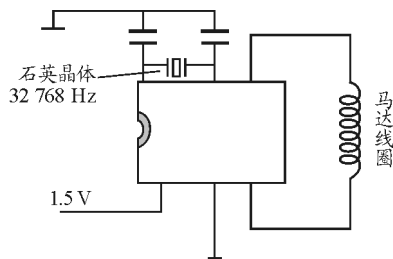


图1 电子钟简易电路图

如图2所示的电路图,将 R, L 和 C 元件串联,先将 S 打向“1”,待稳定后打向“2”,这称为 RLC 串联电路的放电过程。

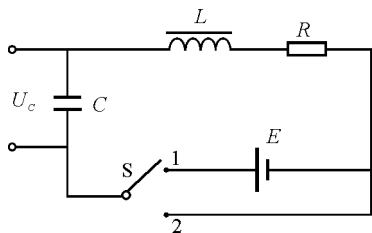


图2 RLC 串联电路的放电过程

此时方程为

$$U_R + U_L + U_C = 0$$

即

$$iR + L \frac{di}{dt} + U_C = 0$$

由于

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt}$$

则得

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + RC \frac{dU_C}{dt} + U_C = 0 \quad (1)$$

初始条件为 $t=0, U_C = E$ 和 $\frac{dU_C}{dt} = 0$, 这样方程的解可以分为以下3种情况。

(1) 当 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 为阻尼振荡状态. 式(1)

的解为

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{C}{4L}R^2}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \sin(\omega t + \varphi)$$

(2) 当 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 为临界阻尼状态, 式(1)的

解为

$$U_C = \left(1 + \frac{t}{\tau}\right) E e^{-\frac{t}{\tau}}$$

(3) 当 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 为过阻尼状态, 不再出现

振荡状态, 式(1)的解为

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{4L}R^2 - 1}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ch}(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

图3为上述3种情况下的 U_C 变化曲线, 其中1为阻尼振荡, 2为临界阻尼状态, 3为过阻尼状态。

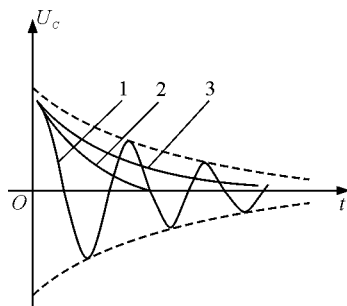


图3 U_C 变化曲线

本实验中, 电容器的电容 $C = 2200 \mu\text{F}$, 电子钟线圈电感 $L = 25 \text{ mH}$, 电子钟电阻 R 约为 200Ω , 经过计算满足 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, 属于过阻尼状态. 这样, 可以从式(2)看出, 过阻尼状态时电容器的电压随时间按双曲余弦规律变化, 电容器放电持续的时间由 RLC 电路的本身电路参量决定, 与电容器所带电荷量、电压无关. 根据式(2)作不同电压下电容器放电的 $U_C - t$ 变化曲线, 如图4所示。

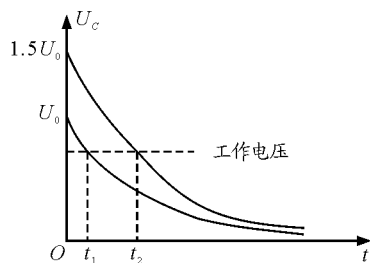


图4 $U_C - t$ 变化曲线

从图中看出电子钟工作时间(秒针走过的格数)和电压两者没有成比例关系, 也绝不是一次线性关系, 而且同一电路中由于电路参量相同, 放电持续时间趋于相同, 也正因为如此, 笔者认为不能用电子钟演示电容器的电荷量与电压的关系. 何况电子钟实际的电路更为复杂、多样化。

3 两个直观演示电容器的电荷量与电压关系的方法

3.1 利用 DIS 演示电容器的电荷量

实验方法详见人教版物理教材“电容器的电容”中的“做一做”. 利用电流传感器捕捉到电容器放电

的 $I-t$ 图像,然后利用图像处理中的“积分”功能,就能直接得出电容器的电荷量.改变电压,重复实验,这样就能比较直观地得出电容器的电荷量与电压的关系.做这个实验,学校必须配备数字化实验器材.

3.2 采用超级电容器 用二分法测定电荷量

如果学校没有数字化实验器材,可以利用二分法测定电荷量.用两个型号相同的电容器,其中一个电容器充电量为 Q ,另一个电容器不带电,让两个电容器充分接触后再分开,则电容器的带电荷量平均分配,每个带电荷量均为 $\frac{Q}{2}$,这就是二分法.重复上述步骤,可以得到 $\frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}, \frac{Q}{16}$ 等电荷量.

那么怎样测定电容器的电压呢?教材在探究平行板电容器的电容时用到了静电计测定电压.静电计是个半定量测量仪器,而且只能测定几百伏的大电压,显然静电计不适合测定普通电容器的电压.那么能否用电压表直接测定电容器的电压呢?如果用电压表直接测量电容器的电压,其实就组成了一个 RC 放电电路.在放电过程中 RC 电路的电荷量满足方程: $q = Qe^{-\frac{t}{\tau}} = CEe^{-\frac{t}{\tau}}$, 式中 $\tau = RC$, 称为 RC 电路

的时间常数.以前普通电容器的最大电容也只有上千微法,电压表电阻约为几千欧姆,所以时间常数大约为几秒,用电压表直接测量电容器的电压,电容器的电荷一下子放完了,很难测准电压值,而且电容器的电荷放完了就不能再用电量二分法继续实验.现在如果采用超级电容器,由于超级电容器的电容有几法拉,电压表电阻约为几千欧姆,所以时间常数大约为几千秒,这样有足够的时间测量电压值,而且短时测量电压引起的电荷量变化也极其微小,可以忽略不计.现在超级电容器应用十分广泛,行车记录仪就用超级电容器.超级电容器在网上购买很方便,价格也很便宜,二三元钱一个.所以采用超级电容器,用二分法测定电荷量,来探究电容器的电荷量与电压的关系,简洁方便,经济实惠,实验效果也最为直观.

参考文献

- 1 祁红菊.有效进行概念教学的4个关键——以“电容器的电容”为例.物理通报,2016(7):52~54
- 2 赵凯华,陈熙谋.电磁学.北京:北京高等教育出版社,1985.511~522

(上接第106页)

高中物理一线教师组织教学活动最有力的抓手,认真研读领会其内涵精神,可以让我们的宏观课程架构和常规课堂设计更加优质高效.

2.2 落实“四层”教育 重视“四翼”考核

《高考大纲》中“四层”包含的必备知识、关键能力、学科素养、核心价值对我们一线教师日常的教学内容极有指导性.按照这4个层次对我们的教学内容进行梳理整合,可以让我们的课堂目的性更明确,有助于提高学生学习的全面性和有效性.而“四翼”所强调的是教学成果考核中命题要体现基础性、综合性、应用型、创新性.如果我们日常的作业、练习可以向这样的命题规范靠拢,无疑可以更好地帮助教师和学生进行评价定位,让教育和学习能够做到有的放矢.

2.3 立足学科核心素养 提升物理综合能力

教育是一个时间跨度较大的过程,其效果显现的滞后特征十分明显,物理学科核心素养的教育不可能一蹴而就,这就要求我们物理教师要在日常教学中注重物理情境的创设,确保经典实验、重要实验的深入挖掘,培养学生在物理情景中、在实验探究中发现问题、提出问题、解决问题的能力,当学生可以科学而有条理地进行探究实验时,高中物理教育的目的就基本实现了.

参考文献

- 1 姜钢.中国教育报,2016
- 2 教育部考试中心.普通高等学校招生全国统一考试大纲.北京:高等教育出版社,2017
- 3 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版).2017