



# DIS 在电容器的充放电与串并联实验中的应用

何进言<sup>1</sup>,冯玉龙<sup>1</sup>,谭兴文<sup>2</sup>,张健<sup>1</sup>

1.重庆市朝阳中学,重庆 400700

2.西南大学 物理科学与技术学院,重庆 400715

摘要:利用 DIS 对电容器充放电过程中电容器两极板电压的变化规律进行探讨,通过理论计算和实验测量数据的对比,得出电容器两极板电压的变化规律是按指数增加或衰减。

关键词:DIS;电容充放电;高中物理教学

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2017)3-0054-3

DIS 是数字化信息系统(Digital Information System)的简称,它是用传感器获取信息,经数据采集器将传感器获取的数据输送到计算机,由计算机对信息进行数据和图形处理的教育技术平台。该系统为学生自主探究提供了有效工具,有利于培养学生适应信息时代的学习能力和创新能力。同时,利用该系统可以优化和改进传统实验。与传统实验相比,DIS 给中学物理教学带来了深刻变化,但 DIS 的引入不是为了排斥、抵制和否定传统实验,而是整合和互补的辩证关系。该系统实现了“变定性为定量”“变不可见为可见”“变不能做为能做”。人教版物理选修 3-1 电容器充放电演示实验由于电容器充放电过程很快,用传统的电压表很难形象地表征电容器两极板间的电压变化过程。本文利用 DIS 设计了探究电容器的充放电与串并联规律实验,能实时、真实地监测电容器充放电过程中电容器两极板间电压的变化过程,对学生理解和掌握本章节知识点具有重要的借鉴作用。

## 1 实验目的

观察电容器的充放电过程,了解电容器串并联的容量变化。

## 2 实验原理

如图 1 所示, $R_1=R_2=R_3=1\text{ k}\Omega$ , $C_1=C_2=C_3=C_4=$

$C_5=100\text{ }\mu\text{F}$ 。开关接位置 1 时,7 V 电源开始为电容器充电,经过一段时间,电容器充电完成;开关 K 接位置 2 时,电容器开始放电,经过一段时间,放电完成。在电容器充放电过程中用 DIS 的电压传感器实时测量电容器两端电压变化的规律,并有效地验证电容器串并联容量的变化。

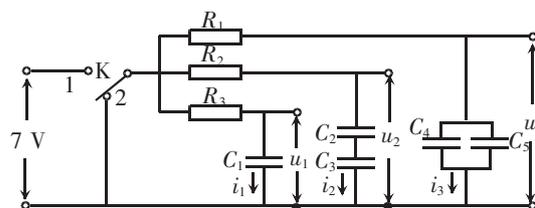


图 1 电容器充放电电路图

## 2.1 理论分析

### 2.1.1 电容器的串并联及其等效电容

电容器的串联,设使用前电容上无电荷,如图 2 所示, $C_1, C_2, C_3 \dots C_N$  串联,设串联后的等效电容为  $C$ ,回路电流为  $i$ 。

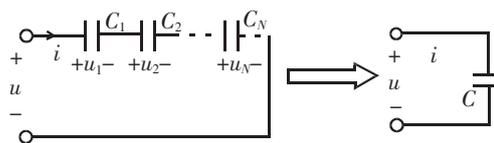


图 2 电容器的串联及其等效电容

根据 KVL 及电容元件的电压-电流关系得:

$$u=u_1+u_2+u_3+\dots+u_N \quad (1)$$

收稿日期:2016-12-15

基金项目:本文为重庆市中小学创新人才工程项目“低成本趣味物理实验的设计与开发”(CY60213)、重庆市教改项目“低成本物理实验教具的设计与开发”(153025)及西南大学实验技术研究项目“低成本物理实验教具的设计与开发”(SYJ2016006)课题研究阶段成果之一。

作者简介:何进言(2000-),男,重庆市朝阳中学学生。

通讯作者:张健(1972-),男,中学高级,主要从事高中物理教学工作。

$$= \frac{1}{C_1} \int i(t)dt + \frac{1}{C_2} \int i(t)dt + \frac{1}{C_3} \int i(t)dt + \dots + \frac{1}{C_N} \int i(t)dt = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N} \right) \int i(t)dt = \frac{1}{C} \int i(t)dt \quad (2)$$

可得:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N} \quad (3)$$

由(3)式可以看出,电容串联,等效电容变小,等效电容的倒数等于各串联电容的倒数和。

电容的并联,设使用前电容上无电荷,如图 3 所示,  $C_1, C_2, C_3 \dots C_N$  并联, 设并联后的等效电容为  $C$ , 并联支路电流为  $i_1 i_2 i_3 \dots i_N$ 。

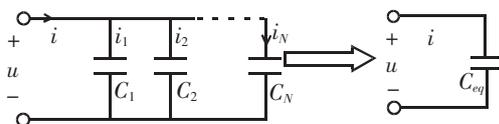


图 3 电容器的并联及其等效电容

由于并联电容的总电荷等于各电容的电荷之和,即

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N = C_1 u + C_2 u + C_3 u + \dots + C_N u = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N) u \quad (4)$$

可得:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N \quad (5)$$

由(5)式可以看出,并联电容的等效电容容量变大,等效电容等于各电容之和。

可见,电容器串联的等效电容类似于电阻的并联;电容器并联的等效电容类似于电阻的串联。

### 2.1.2 电容器充电过程

设电源电压为  $U$ , 流经电容器  $C_1$  的电流为  $i$ 。  $t=0$  时将开关  $K$  合到位置 1, 电源开始为电容器充电, 其上电压为  $u_c$ 。 根据基尔霍夫电压定律,  $t \geq 0$  时, 电路的微分方程为:

$$U = Ri + u_c = RC \frac{du_c}{dt} = u_c \quad (6)$$

该微分方程的解为:

$$u_c = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (7)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt} = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8)$$

其中  $\tau = RC$ , 由(8)式可以看出,在电容器充电过程中,电容器两极板间的电压变化的规律是从  $0V$  按指数规律上升;充电电流是按照指数规律衰减。充电的快慢跟电路的时间常数  $\tau$  有关,

电容容量越大,  $\tau = RC$  越大, 充电越慢,  $\tau = RC$  越小, 充电越快。

### 2.1.3 电容器放电过程

$t=0$  时将开关  $K$  合到位置 2, 电容器开始放电, 其上电压为  $u_c$ , 根据基尔霍夫电压定律,  $t \geq 0$  时, 电路的微分方程为:

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0 \quad (9)$$

经过求解可得

$$u_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

$$i = C \frac{du_c}{dt} = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

$U_0$  为电容器放电开始前的初始电压。由(11)式可以看出,在电容器放电过程中,电容器两极板间的电压变化的规律是从  $U_0$  按指数规律下降;充电电流是按照指数规律衰减,电流方向与充电电流相反。放电的快慢跟电路的时间常数  $\tau$  有关,电容容量越大,  $\tau = RC$  越大, 放电越慢,  $\tau = RC$  越小, 放电越快。

## 3 实验器材

DIS 数据采集器、电压传感器、计算机、自制电路板、直流电源、导线。

## 4 实验装置图(如图 4 所示)

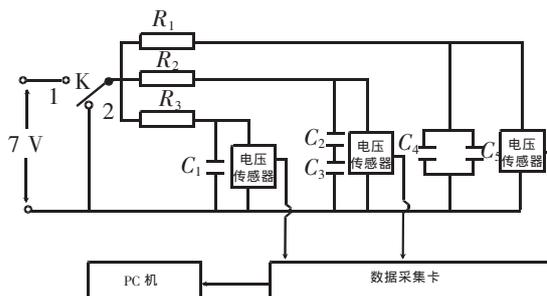


图 4 实验装置接线图

## 5 实验过程与数据分析

(1)按图 4 接线图连接电路;

(2)启动 DIS 软件,打开电源,将开关合到位置 1,同时分别点击软件开始采集电容器两极板间的电压  $u_1, u_2, u_3$ ;

(3)得到电容器充电过程中电容器两极板间的电压随时间变化的曲线,如图 5 所示;

(4)将开关合到位置 2,同时分别点击软件开始采集电容器两极板间的电压  $u_1, u_2, u_3$ , 得到电容器放电过程中电容器两极板间的电压随时间的变化曲线,如图 6 所示。(下转第 58 页)

本题时,认为割刀垂直于玻璃边缘切割玻璃,时间  $t = \frac{d}{v_{\text{割刀}}} = \frac{9}{8} \text{ s}$ 。为了让学生清楚错在何处,正确切割方式应怎样?可让学生利用教室里学生上美术课的画板(一块正方形的木板)代替玻璃和粉笔代替割刀,模拟切割玻璃的情景。具体做法如下:

(1)两位同学上台,一个同学把画板贴在黑板上(如果黑板下边缘有凹槽,则把画板放入凹槽,更容易操作),并匀速向右拉动画板;另外一位同学,用粉笔代替割刀在画板上匀速画线;

(2)学生第一次“切割”时,粉笔的速度垂直于画板,如图 4 所示,“切割痕迹”如虚线所示,这样切割的玻璃不是正方形;

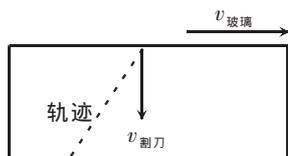


图 4 习题附图之一

(3)为了探究正确的切割方式,让学生按照图 5 所示的方式“切割”。一个同学向右匀速拉画板,另一个同学向下角用粉笔匀速画线。多训练几次后,学生配合默契可得到图 5 中虚线所示的“切割痕迹”。为了尽量达到这一效果,课前应

指导这两位演示的同学,反复练习,增强默契。

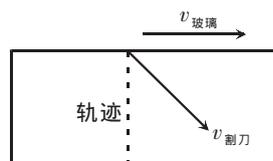


图 5 习题附图之二

情景模拟完成后,再画出速度分解的矢量图。如图 6 所示,把割刀的速度分解为沿玻璃运动方向  $v_1$  和垂直于玻璃边缘的方向  $v_2$ 。 $v_1$  等于玻璃运动的速度,  $v_2$  是割刀实际切割的速度。根据勾股定理  $v_2 = \sqrt{v_{\text{割刀}}^2 - v_{\text{玻璃}}^2} = 4 \text{ m/s}$ ,切割时间  $t = \frac{d}{v_2} = \frac{9}{4} \text{ s}$ 。

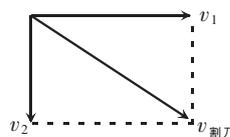


图 6 习题附图之三

参考文献:

- [1]姜峰.物理实验教学值得注意的十个问题[J].物理教学,2012,34(7):36.
- [2]刘桂枝.挖掘习题资源 创新实验教学[J].中学物理教学参考,2012,41(3):43.

(栏目编辑 王柏庐)

(上接第 55 页)

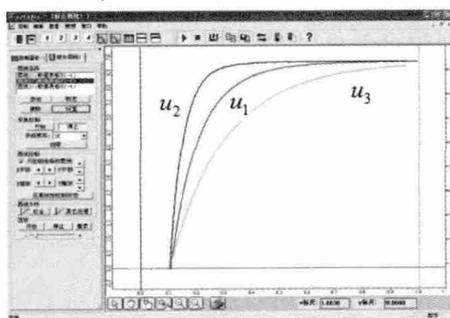


图 5 电容器充电 U-T 图

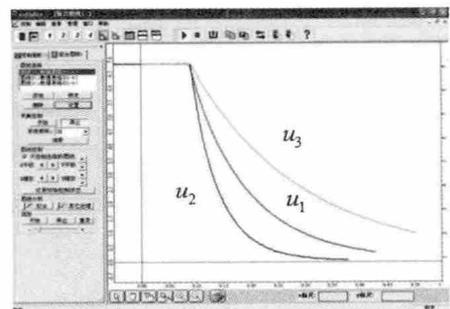


图 6 电容器放电 U-T 图

图 5 和图 6 中,  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  曲线分别为一个电容器、两个电容串联、两个电容并联情况下电容器两极板间的电压随时间的变化规律。可见,电容器的充放电过程中两极板间的电压是按指数规律增加或衰减,最后趋于稳态值;电压增加或衰减的快慢与电容的大小相关,电容容量越大(并联),电压随时间变化的曲线越平缓,充电和放电越缓慢;电容容量越小(串联)电压随时间变化的曲线越陡,充电和放电越快。实验结果与理论结果一致。

参考文献:

- [1]周鹏,张德启,李新乡.信息技术下的探究教学案例——“电容器与电容”教学设计[J].物理教师,2008,29(4):16-18.
- [2]何勇军.探究含电容器电路的瞬态过程[J].物理教学探讨,2011,29(7):55-57.

(栏目编辑 王柏庐)