

夫兰克-赫兹实验的计算机数据采集和处理系统

林定移 曾贻伟

(北京师范大学物理系 100875)

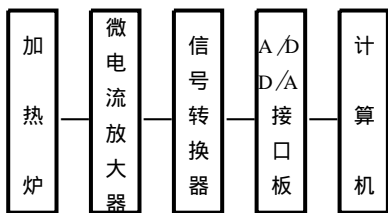
摘要 对传统的夫兰克-赫兹实验进行了计算机接口改造。改造后的实验利用计算机自动控制栅压的扫描,对板极电流自动采集,并显示特征曲线。高位数的接口板使得测量数据的准确度更高,有利于提高曲线的分辨率。用计算机进行控制比手动实验更节省时间,可以完成更多的实验内容。

关键词 夫兰克-赫兹实验 计算机接口 信号转换 数据采集和处理

1 前言

在夫兰克-赫兹实验中,我们使用的是南京工学院的 FH-1 型实验仪。该仪器提供两种测量方法:手动逐点测量和自动扫描测量。

在逐点测量时,由于曲线起伏较大而测量数据点有限,很难获得准确的特征曲线,而且由于测量时间较长,实验的工作状态(如夫兰克-赫兹管的温度、灯丝发射的电子密度和加速电压等)不断漂移,很难保证测量条件不变,无法确定特征曲线上峰谷点的电压值和获得好的测量数据。



当使用自动扫描测量时,测量时间较短(约几秒的量级),实验的测量条件是基本保持不变,但栅压和板极电流变化太快,无法从仪表上记取测量数据,只能使用 XY 记录仪画出特征曲线,再从曲线图上测量峰谷点的栅压值。记录仪不仅价格十分昂贵,而且画出的曲线图分辨率也有限,实际上是降低了实验精度。

本实验的改进工作包括两大部分:实验装置的改进和数据采集处理程序的编制。改进后的实验装置由五部分组成: A/D-D/A 接口板的 D/A 部分控制栅极电压的扫描, A/D 部分

测量板极电流。信号转换器将 μA 级的板极电流和 50V 的栅极电压进行信号变换和隔离后提供给接口板。原实验装置中的加热炉和微电流放大器基本上不做改动,另增加用计算机直接处理由接口采得的数据。

数据采集和处理程序,完成扫描参数的设定、栅压自动扫描和板极电流的自动采集、显示特征曲线、计算峰谷值、打印曲线等功能。

由于计算机具有快速的计算能力和丰富的图形显示能力,以及它的可编程性,用它来采集测量数据和显示特征曲线,既可以代替 XY 记录仪使用自动扫描档进行实验,而且可以储存数据,有利于对不同条件下的测量进行对比分析,并且可以在显示器屏上显示实验曲线,或将曲线图打印出来。

2 实验装置软硬件

2.1 信号转换板

信号转换板由板极电流放大电路、栅压扫描电路和供电回路组成,见图 1。

2.2 数据采集和处理程序

本程序在对栅压进行自动扫描前可随时设定扫描参数,采集得到的数据以表格和曲线图同时显示,并能计算某点的峰谷值(图 2)。

设定扫描参数: 栅极的起始电压、终止电压、扫描点数及扫描速度。

自动栅压扫描: 程序控制实验装置自动加上变化的栅极电压,并采集板极电流。

显示特征曲线: 当光标在曲线中移动时, 显示曲线光标处对应的栅极电压值
浏览数据: 通过上下滚动表格窗口可以浏览数据

读写数据: 保存采集到的数据或从磁盘中读入数据进行分析

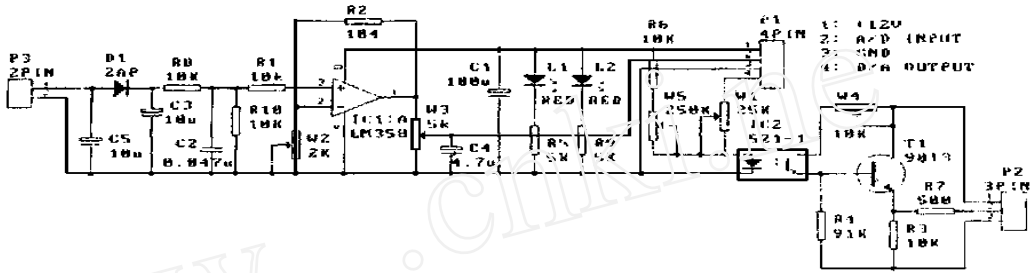


图 1

求峰谷值: 在特征曲线的某峰谷点上单击鼠标即可自动求得此点所对应的栅极电压
打印数据和曲线: 将全部数据或图表输出到打印纸上

以此D/A 值就可以获得所需的栅压了。
2.4 通过叠代计算峰谷值
在特征曲线上某峰谷点附近单击, 或按动“求峰谷值”按钮, 可以把某一段的峰值或谷值所对应的栅极电压自动求出来, 免去手工计算的麻烦

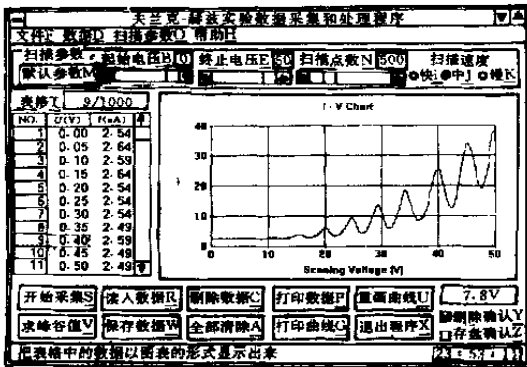


图 2

2.3 扫描电压校正

在栅压自动扫描的控制中, 由于存在非线性性的光电耦合管和三极管, 使得整个控制回路存在非线性误差 (其实, 应该说不管什么仪器均存在非线性误差, 只不过有些仪器的非线性误差很小, 在实验的允许条件下可以忽略而已)。对以上的控制通道如果在电路上进行非线性误差补偿不仅电路复杂, 而且也是不现实的而采用在软件中进行非线性误差纠正却很容易操作

纠正的方法是, 根据以上的误差校正对照表, 要获得某一栅压值, 在图 2 表格中栅压栏查找到离此点最近的两个数据点, 采取线性内插求值的方法, 推算相应的 D/A 值 在程序中

计算机是以一定的步长间隔对栅压进行扫描的, 或许某一峰谷值正好在两个扫描点之间, 这样就近取哪个点都会有误差, 得利用曲线拟合的方法来求得峰谷所对应的点 应该说, 只有在峰谷点附近的峰谷曲线才与二次曲线接近 如果单次就定下峰谷点, 那么, 由于采集的数据存在误差, 加上人工确定假设的峰谷点有偏差, 会使峰谷点的位置随不同的预设值而不同 只有通过叠代, 逐步逼近, 才可求得准确值, 免去了单次定位的随意性 由于采用了循环叠代, 即使事先确定的假设峰谷点与最后求得的峰谷点有一定的差距, 也能最后求得准确的峰谷点

3 实验结果

利用改进后的实验装置和实验方法进行了以下内容的实验, 实验结果与理论相符 实验装置中的反向拒斥电压是固定的, 为 $U_{AG} = -1.5V$.

3.1 汞的第一激发电位

在 174 的炉温下进行栅压自动扫描, 得到图 3 所示的 I-V 曲线 分别在栅压低端进行扫描, 以提高曲线的分辨率

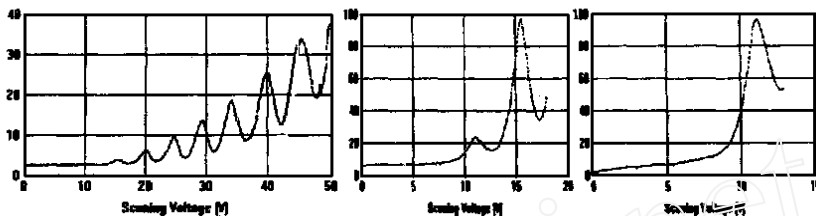


图 3

利用程序中的“求峰谷值”功能对每个峰点自动测量，得到如表 1 所示的数据

表 1

峰位	1	2	3	4	5	6	7	8	误差/V
峰值/V	11.1	15.6	20.1	24.7	29.4	34.2	40.1	45.2	±0.1
逐差/V					18.3	18.6	20.0	20.5	±0.2
平均/V								19.4	±0.2
第一激发电位/V								4.85	±0.05

栅压在 0~ 50V 之间扫描 1000 个数据点，每个数据点的间隔为 0.05V，加上接口板固有的分辨率为 0.02V，取数据的误差为 0.1V。

求得的汞蒸汽的第一激发电位为 (4.85 ± 0.05) V，与理论值 4.89V 在误差范围内相符。

在实验曲线中测得的第一个峰点的栅压值为 11.06V，此峰点前应该还有一个峰点，只不过在实验中没有测量到。以 4.85V 的峰间距前推，得出真正第一个峰点的栅压值为 6.21V。此值与第一激发电位有一个差值，原因是由于接触电位差造成的。由此，求得接触电位为 (6.21 - 4.85) V = 1.36V。

在不同的实验条件下，如不同的实验装置、不同的温度，计算得到不同的接触电位。可见接触电位会随实验条件的改变而变化。

3.2 击穿电压与温度的关系

电子能量在 45eV 以下，电子获得的能量与汞原子电离几率关系呈单调上升趋势。

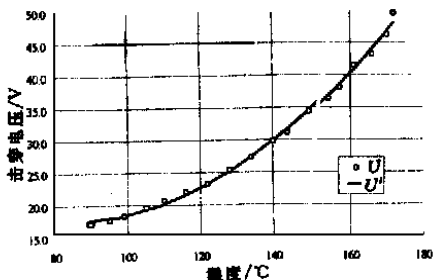


图 4 击穿电压与温度的关系

当夫兰克-赫兹管栅压一定时，从电场中获

得的能量与自由程成正比，即温度越低，获得能量越大，夫兰克-赫兹管电离的几率也越大，这样，栅压可运用的范围就越小。对某一夫兰克-赫兹管，不同温度下管子的起辉电压值进行测量，如图 4 所示。拟合方程为 (r = 0.998)

$$U = 45.2 - 0.661T + 0.00394T^2$$

由于我们实验中栅压最高可达到 50V，如果要满量程扫描，由上式取得加热炉的温度应达到 175 左右。

3.3 不同灯丝电压时的特征曲线

在不同的灯丝电压下测得的特征曲线最明显的是板极电流的读数相差很大。在 175 时对曲线上栅压为 40V 左右的峰点进行不同灯丝电压时的板极电流测量，得到如图 5 所示的曲线。从曲线上可以看出，当灯丝电压在 5.0~ 7.0V 之间变化时，板极电流几乎增大了 2 个数量级。

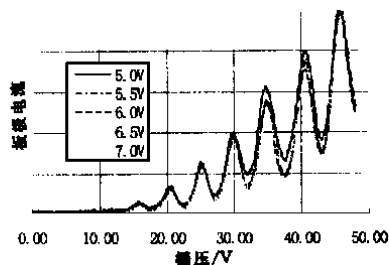


图 5 不同灯丝电压时特征曲线的比较

为了能在同一坐标系中比较不同灯丝电压的特征曲线，将各个特征曲线的纵坐标（板极

电流)进行归一化,使得每个特征曲线的板极电流的最低点均为0,最高点(最后一个峰点)均为单位100,得到图5所示的曲线族

增加灯丝电压,可以提高阴极的温度,使发射电流加大,它将增大弗兰克-赫兹管的放大作用。反映为灯丝电压对幅度(板极电流)的绝对值有很大的影响,但不会影响特征曲线的形状

由于曲线的幅度只是一个相对值,遇到在某一条件下曲线的幅度不能充分展开时,可以在小范围内改变灯丝电压值,以获得满意的曲线分辨率

但是,灯丝电压的提高将降低灯丝的使用寿命,一般取标准值6.3V为好。对已老化的弗兰克-赫兹管,可适当提高灯丝电压,但最好不要超过7.0V,即不高于标准值的10%。

3.4 不同温度时的特征曲线

将不同温度时的特征曲线也进行归一化后显示在同一坐标系中,得到图6所示的曲线族。温度较低的曲线由于弗兰克-赫兹管的起辉而只测到前2~3个峰点

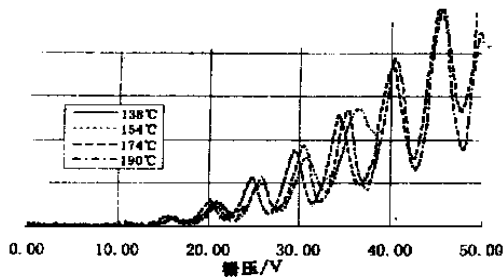


图6 不同温度时特征曲线的比较

可见,在不同的温度时特征曲线的形状也是接近一样的,只是随着温度的升高,弗兰克-赫兹管的起辉电压后移,由此可以得到更多的峰点。另外,在不同的温度时曲线峰点的位置有变化,这是由于测量时间较长而使实验工作状态不断漂移引起的

3.5 改进后实验装置的优点

弗兰克-赫兹实验是近代物理实验中的一个典型实验,已经开设了几十年,但实验的装置和测量方法还是原来的那一套,变化不大。把计算机接口技术引入此实验,使得此实验能更

好地紧跟时代步伐,与新技术相结合,使实验焕发青春。学生在实验中不仅可就本身的弗兰克-赫兹实验进行研究,还可以研究计算机数据采集和处理技术,提高学生的实验兴趣

原先的实验采用一般的指针式仪表进行测量,数据的精度也只有1V,最多只能估读到小数点后一位。采用计算机接口技术,并进行数据校正后,数据能读到小数点后两位,使得精度提高一个量级,有利于更好地进行定量分析

在程序中,对实验参数可方便地进行设置,如扫描范围,可任意设定起始和终止扫描栅压,对任意区间分析。控制数据的采集点数和扫描速度,可以用很小的变化间隔均匀地在某区间进行扫描。由程序对实验进行控制,可以很方便地把中间结果及时储存起来,便于把不同状态下的几组数据同时进行比较分析,或作为中间结果让其它程序进一步利用。由程序对实验进行控制,使得实验的效率更高,原先实验要求中的内容现在可以花更少的时间就可完成,这样,可以利用本装置扩展实验题目,有利于完成更多的实验内容,使实验往深度发展

4 参考文献

- 1 弗兰克-赫兹实验仪使用说明书,江苏仪征电子管厂
- 2 曾贻伟等编 普通物理实验教程 北京师范大学出版社
- 3 刘复汉等 弗兰克-赫兹实验的改革及其教学效果 大学物理,1986(8)
- 4 赵治华 用微机采集和处理弗兰克-赫兹实验的测量数据 物理实验,1995(5)
- 5 PS-2104 十二位A/D-D/A 接口板使用说明书,北京众人精密测控技术公司
- 6 Nornes S, Tu YZ Augmenting traditional undergraduate advanced laboratory experiments by automation using IEEE-488 and RS-232 interfaces Am. J. Phys, 1989, 57(10)
- 7 Martin AD, Quinn PJ. Electron spectroscopy using a Franck-Hertz tube Am. J. Phys, 1984, 52(12)

(1998-12-02 收稿)