

# 物理实验报告

实验名称：弗兰克赫兹实验,交流电路功率因数实验

实验桌号：\_\_\_\_\_

指导教师：史明\_\_\_\_\_

班级：\_\_\_\_\_

姓名：\_\_\_\_\_

学号：\_\_\_\_\_

实验日期: 2025 年 3 月 20 日    星期四上午

浙江大学物理实验教学中心

# 一、预习报告

## 1. 实验综述

### 弗兰克赫兹实验:

#### 实验原理:

- (1) 波尔的原子理论: 原子由原子核和绕核运动的电子组成; 电子在不同轨道具有不同能量; 电子从低能轨道跃迁至高能轨道时, 原子处于受激状态; 其基于定态假设和频率定则。
- (2) 弗兰克赫兹实验原理: 原子通常处于基态, 但在吸收足够能量后可跃迁至激发态, 通过电子的碰撞可以测量从基态到第一激发态的临界能量。

#### 实验方法:

- (1) 完成各设备的接线, 并检查确认无误。
- (2) 将示波器的 CH1 通道设置为: 200mV/格, 500  $\mu$ S/格; 触发类型为: 边沿触发。触发源为外触发输入通道, 下降沿触发。触发方式为自动。
- (3) 确认“电源二”实验仪器处于自动测量方式状态, 按下“确认”按键, 启动自动测量, 在示波器上观测波浪式爬坡曲线的形成过程。
- (4) 约 4min 后, 自动测量过程结束, 通过“查询”按键依次查询并记录 7 个峰值的第二栅压  $U_{G2K}$  值。
- (5) 重复测量 5 次, 取平均值后再用计算机软件拟合, 得到氩原子的第一激发电势  $U_0$ 。

### 交流电路功率因数实验:

#### 实验原理:

- (1) 日光灯电路工作原理: 日光灯电路是一种典型的电感性负载电路, 它主要由灯管 L, 镇流器 M, 启辉器 S 组成。在日光灯电路接通电源后, 交流电源、镇流器与日光灯管会串联构成一个电流通路, 从而保证日光灯的正常工作。
- (2) 功率因数的提高: 对于交流电路, 计算其平均功率需要考虑电压与电流间的相位差, 即  $P = UI \cos \varphi$ , 式子中的  $\cos \varphi$  即为电路的功率因数。提高功率因数的方法, 除改善负载本身的工作状态、设计合理性之外, 由于工业负载基本都是感性负载, 因此常在负载两端并联电容器组, 补偿无功功率, 以提高线路的功率因数。

#### 实验方法:

- (1) 完成日光灯的组装及接线, 检查无误后点亮灯管, 观察日光灯的启动过程。
- (2) 用交流电压表、交流电流表、功率表测量日光灯电路在额定电压下电路的电压、电流, 并计算功率因数。
- (3) 依次接入 1~7 $\mu$ F 的电容, 重复步骤(2), 绘制  $\cos \varphi - C$  曲线, 找出使功率因数为最大值时的电容值。

## 2. 实验重点

### 弗兰克赫兹实验:

- (1) 学习关于原子碰撞激发和测量的方法
- (2) 测定氩原子的第一激发电势
- (3) 通过对氩原子激发电势的测量, 证实原子能级的存在

### 交流电路功率因数实验:

- (1) 熟悉日光灯电路的工作原理, 掌握日光灯电路的组装
- (2) 掌握测量日光灯电路交流功率及提高电感性电路功率因素的方法
- (3) 学习各种交流电表的使用

### 3. 实验难点

**弗兰克赫兹实验：**

各设备的接线；对示波器的调试；对电压峰值的判断。

**交流电路功率因数实验：**

实验设备的操作；电表的读数；各个电容的接入。

## 二、原始数据

224

4. 功率因数

(1) 本实验电路如图 4-11-1 所示。打开电源开关，并打开灯开关，观察日光灯启动过程。

(2) 用电压表、电流表、功率表测量日光灯电路在额定电压时电路的功率、功率因数、电压、电流，并计算功率因数。将实验数据填入表。

(3) 接入电容，并调节电容使从小容量到大容量变化，测量各电压、功率、功率因数，并将实验数据填入表。将功率因数随电容变化的曲线画在坐标纸上，作  $\cos \varphi - C$  曲线，填写表 4-11-1。

4-11-1

Shi Ming

加电容	1 $\mu$ F	2 $\mu$ F	3 $\mu$ F	4 $\mu$ F	5 $\mu$ F	6 $\mu$ F	7 $\mu$ F	8 $\mu$ F
$I/A$	0.308	0.298	0.190	0.182	0.164	0.218	0.208	0.208
$U/V$	228.9	228.9	225.6	225.2	225.4	224.9	225.2	225.0
$P/W$	28.5	28.2	24.3	24.1	24.2	24.2	24.3	24.2
$\cos \varphi$	0.353	0.324	0.733	0.847	0.801	0.655	0.494	0.390

9  $\mu$ F

0.343

226.9

24.1

0.312

【注意事项】

警告：因为该实验是强电实验，因此实验中必须谨慎小心。接线需仔细！

※ 必须请指导教师检查后方可通电。

【问题】

提高功率因数的意义何在？为什么并联电容能提高功率因数？并联的电容越大越好？

实验中，随着电容增加，电路总电流的变化规律为由大变小再变大，试

进行功率因数补偿时，本实验采用并联电容器的方法，为什么不采用

的方法？

第1次自动测量

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{C2k}(V)$	27.4	27.2	49.9	61.8	73.8	86.5	

第2次自动测量

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{C2k}(V)$	27.5	28.6	49.4	61.6	73.8	86.9	

第3次自动测量

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{C2k}(V)$	27.8	29.0	49.3	61.6	73.9	86.8	

第4次自动测量

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{C2k}(V)$	28.2	28.2	49.5	61.4	73.9	87.2	

第5次自动测量

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{C2k}(V)$	27.8	28.2	49.7	61.2	74.4	86.6	

手动测量

$U_{F5} = 210V$   $U_{C1k} = 125V$   $U_{C2k} = 350V$

$U_{C2k}(V)$	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
$I/nA$	0	11	27	43	50	68	76	84	88	92
	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0
	101	110	117	122	116	116	131	143	150	150
	42.0	44.0	41.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0
	138	140	160	173	178	174	158	163	180	200
	62.0	64.0	66.0	68.0	70.0	72.0	74.0	76.0	78.0	80.0
	204	199	183	188	209	206	232	229	215	216
	92.0	84.0	86.0	88.0	90.0	92.0	94.0	96.0	98.0	100.0
	235	253	215	266	256	255	268	286	303	311

101.8

309

### 三、结果与分析

#### 1. 数据处理与结果

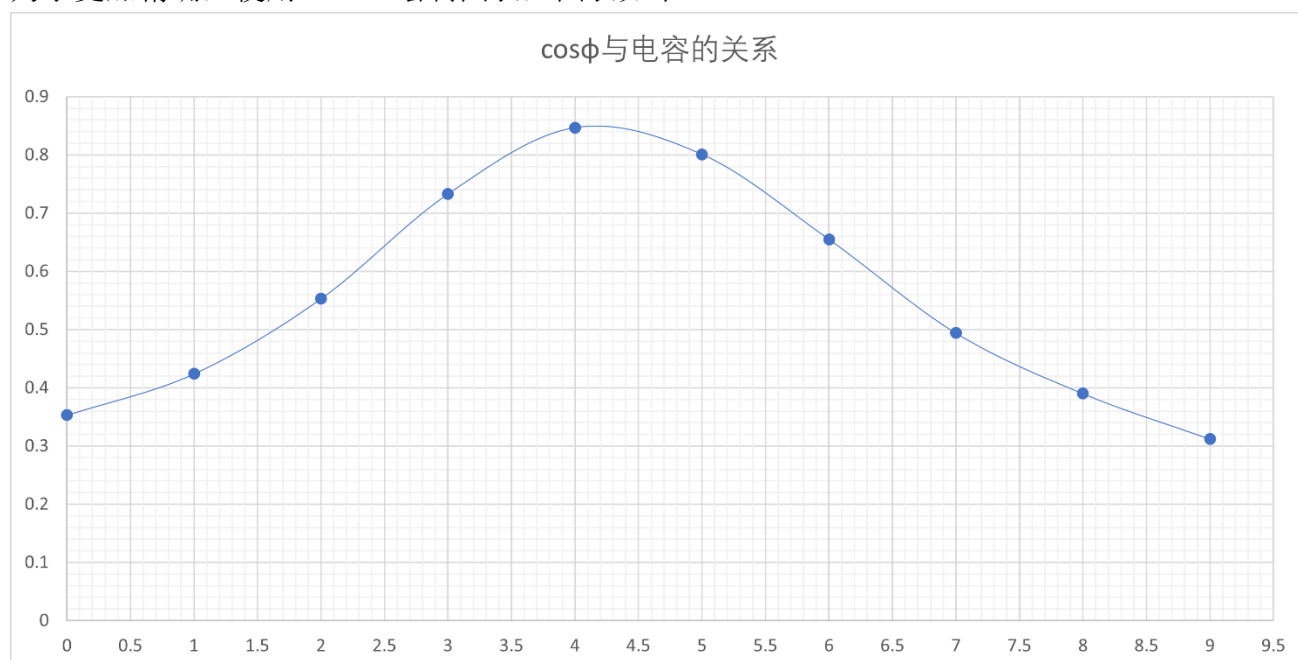
##### 交流功率因数实验:

根据 $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$ , 我们计算出 $0 \sim 9\mu F$ 条件下的交流功率因数:

	未加电容	加电容								
		$1\mu F$	$2\mu F$	$3\mu F$	$4\mu F$	$5\mu F$	$6\mu F$	$7\mu F$	$8\mu F$	$9\mu F$
I/A	0.3086	0.2536	0.1949	0.1460	0.1262	0.1341	0.1643	0.2184	0.2758	0.3433
U/V	224.9	224.9	225.4	225.2	225.4	225.4	224.9	225.2	225.0	224.9
P/W	24.5	24.2	24.3	24.1	24.1	24.2	24.2	24.3	24.2	24.1
$\cos \varphi$	0.353	0.424	0.553	0.733	0.847	0.801	0.655	0.494	0.390	0.312

我们发现, 在这 10 种不同的取值下,  $C = 4\mu F$ 时,  $\cos \varphi$ 取到最大值。

为了更加精确, 使用 excel 绘制图表, 图表如下:



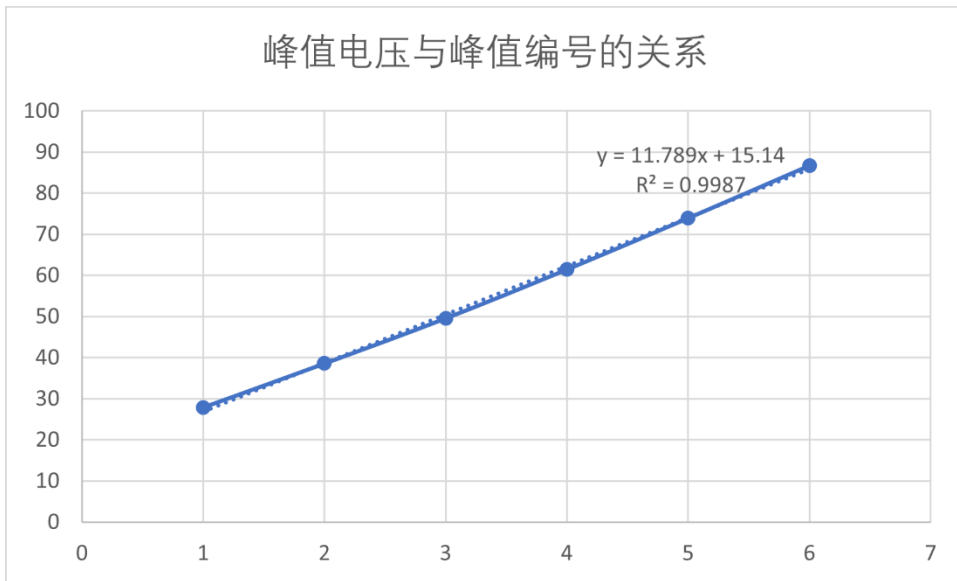
可以看出, 当 $C = 4.1\mu F$ 时,  $\cos \varphi$ 取到最大值, 约为 0.85。

##### 弗兰克赫兹实验:

对 5 次自动测量得到的电压值取平均, 我们得到以下数据:

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6
$U_{a2K}/V$	27.9	38.6	49.6	61.5	74.0	86.8

使用 excel 对这组数据进行以 n 为 x 轴,  $U_{a2K}$  为 y 轴的直线拟合, 所得的直线斜率 k 即为实验所需测的  $U_0$  的测量值。



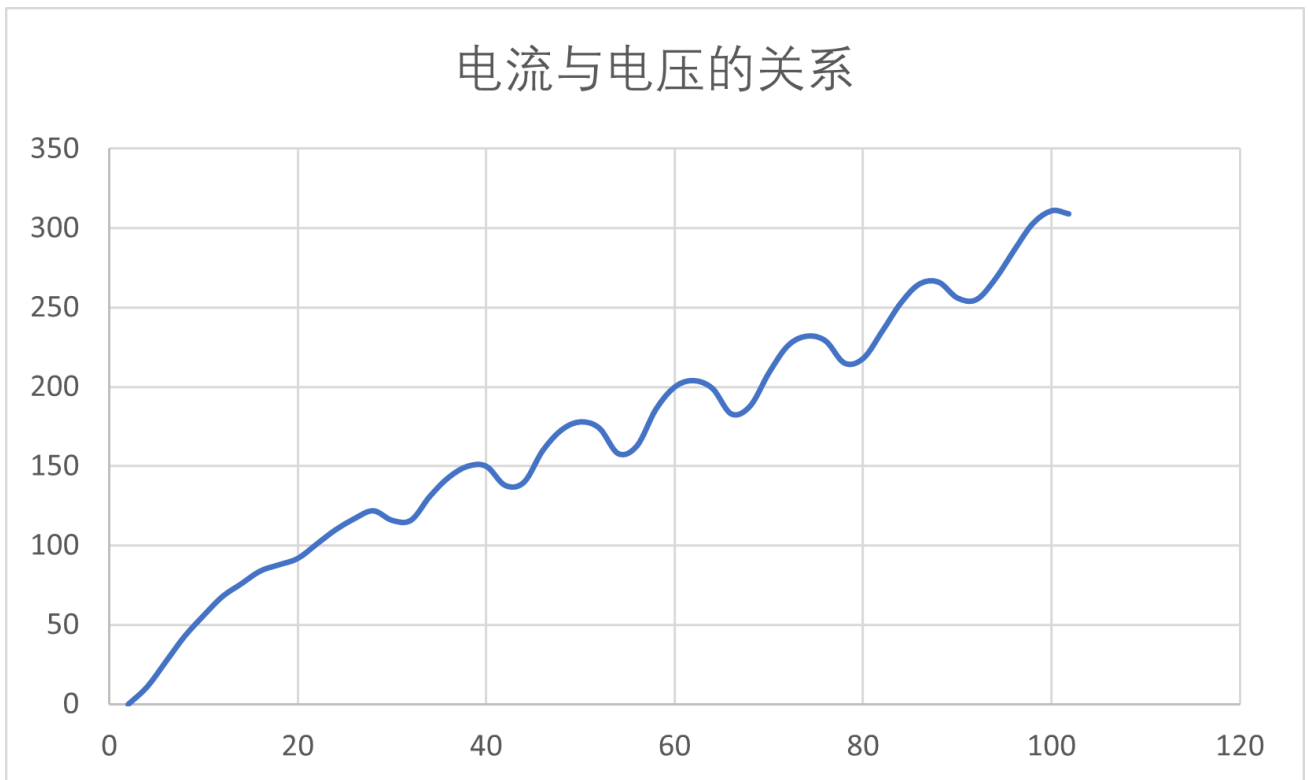
由图知，拟合得到的  $U_0=11.789\text{V}$ ，与标准值  $11.61\text{V}$  比较，计算得到相对误差

$$E_r = \frac{11.789 - 11.61}{11.61} \times 100\% = 1.54\%$$

同时手动测量了 51 组数据，数据如下（仪器参数为：  $U_{F1F2}=3.10\text{V}$ ,  $U_{G1K}=1.25\text{V}$ ,  $U_{G2A}=3.50\text{V}$ ）:

U/V	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0
I/nA	0	11	27	43	56	68	76	84	88	92	101	110	117	122	116	116	131
U/V	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0	68.0
I/nA	143	150	150	138	140	160	173	178	174	158	163	186	200	204	199	183	188
U/V	70.0	72.0	74.0	76.0	78.0	80.0	82.0	84.0	86.0	88.0	90.0	92.0	94.0	96.0	98.0	100.0	101.8
I/nA	209	226	232	229	215	218	235	253	265	266	256	255	268	286	303	311	309

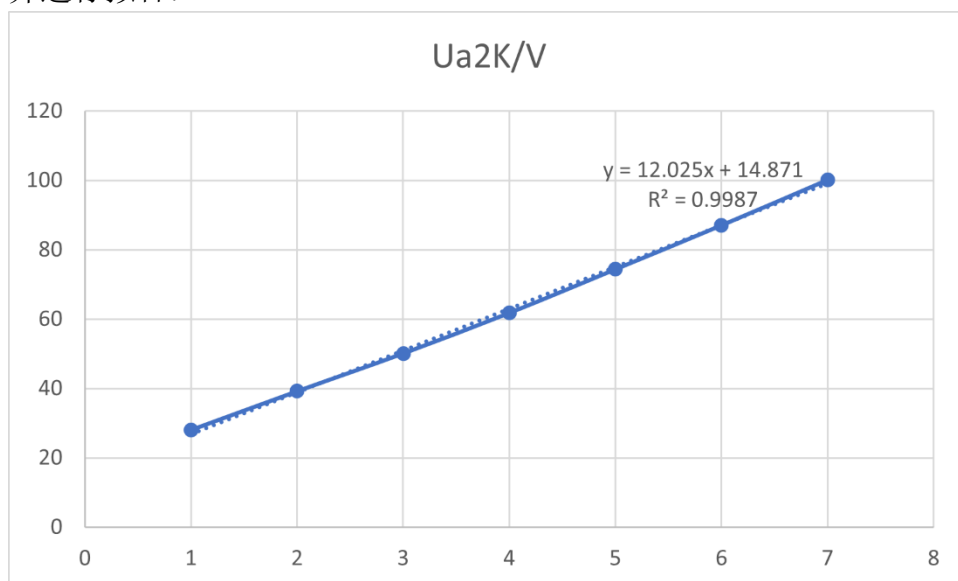
使用 excel 绘制的图表如下：



可以看到出现了 7 个峰值，将这 7 个峰值记录在表上：

峰值序号 n	1	2	3	4	5	6	7
$U_{a2K}/V$	28.0	39.2	50.1	61.8	74.4	87.1	100.2

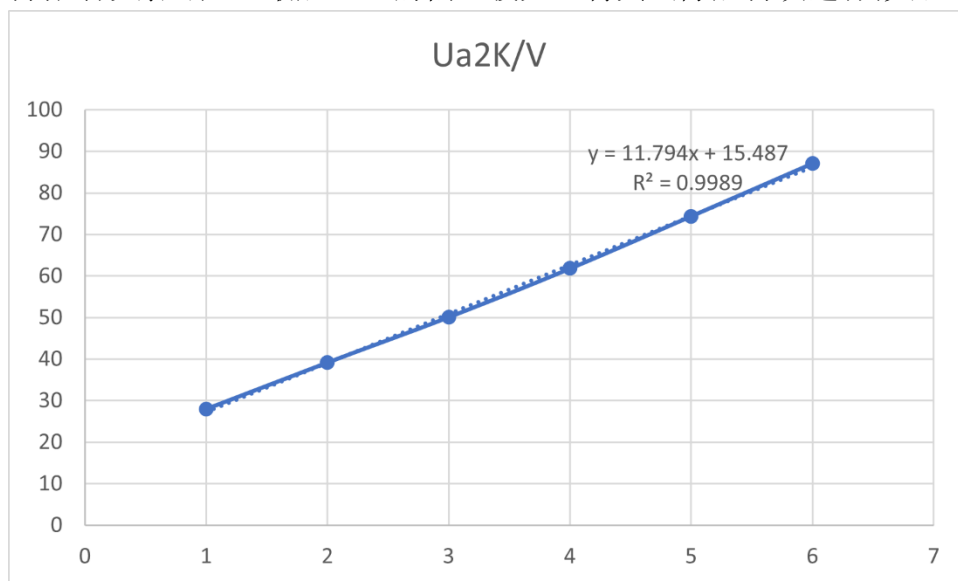
并进行拟合：



由图知，拟合得到的  $U_0=12.025V$ ，与标准值  $11.61V$  比较，计算得到相对误差

$$E_r = \frac{12.025 - 11.61}{11.61} \times 100\% = 3.57\%$$

再仔细观察可知，最后一组的偏差较大，将其去除后再次进行拟合：



再次计算相对误差

$$E_r = \frac{11.794 - 11.61}{11.61} \times 100\% = 1.58\%$$

## 2. 误差分析

### 交流功率因数实验：

- (1) 由于电表示数不断跳动，无法稳定在一个固定值，读数时会产生较大误差。
- (2) 电容实际值与标称值存在一定差异，对实验结果造成一定影响。

(3) 电路中存在的接触不良，对结果造成影响。

#### **弗兰克赫兹实验：**

(1) 预热不足，使测量值产生偏差。

(2) 实验时，由于提供的电压不可能连续，因此对峰值的测量产生偏差。

(3) 仪器老化等其他因素对实验造成的误差。

### **3. 实验探讨**

本次实验课完成了交流电功率因数实验以及弗兰克赫兹实验，了解了日光灯、弗兰克赫兹管等仪器的工作原理，并进一步学习了数据处理的方法，提高了解决实际问题的能力。

## **四、思考题**

#### **交流电功率因数实验：**

1. 提高功率因数的意义何在？为什么并联电容能提高功率因数？并联的电容是否越大越好？

提高功率因数可以提高电压利用率，减小损耗。

电路中含有电感，电流滞后于电压，而电容器具有超前电压的特性，与电感滞后电压的特性相抵消，由此提高功率因数。

电流和电压相位相同时，功率因数最大，如果电容过大，那么电流由滞后于电压变成超前于电压，这样功率因数会先增大后减小，使电容器提高功率因数的效果下降。

2. 在实验中，随着电容增加，电路总电流的变化规律为由大变小再变大，试分析原因。

加电容前电路呈感性，总电流为电阻电流与电感电流的矢量和。补偿时，因为电容电流与电感电流反向，随着电容增大，总电流变小，全补偿时电感电流为零，总电流最小，此时再增大电容，达到过补偿状态，电流再增大。

3. 在进行功率因数补偿时，本实验采用并联电容器的方法，为什么不采用串联电容器的方法？

并联电容使得总电容增加，串联电容使得总电容减小。

串联电容将完全改变电路特性，电容成为负载的一部分，加大了电路损耗。

#### **弗兰克赫兹实验：**

1. 第一激发电位的物理含义是什么？

第一激发电位是指电子从原子的基态跃迁到第一个激发态所需的电势能，在本实验中指的是将氩原子的 3p 电子激发到 4s 所需的电势能。

2. 温度对 F-H 管的 U-I 曲线有什么影响？

温度会影响电子的行为，进而影响实验中的观察结果。温度提高会导致电子的平均动能增加，第一峰值容易消失。