



## 大学物理-基础实验 | 实验报告

姓名 王元叙  
学号 PB22000195  
班级 22 级少年班学院 5 班  
日期 2023 年 5 月 22 日

# 直流电源特性

## 1 实验目的

1. 掌握直流电源特性的测量方法。
2. 了解负载对电源输出特性的影响。
3. 掌握非线性内阻电源开路电压和短路电流的测量方法。

## 2 实验装置

信号发生器，示波器，数字电压器（直流电压档、交流电压档），电阻箱，面包板，整流二极管，电容，电阻，导线若干，电子检流计，滑线变阻器，微安表，电源，电池

## 3 实验原理

### 3.1 纹波系数

直流稳态电源不可避免地在直流稳定量中带有一些交流成分，这种叠加在直流稳定量上的交流分量称为纹波。纹波系数是指负载上交流电压有效值与直流电压之比，是表征直流电源品质的一个重要参数。它除了与整流滤波的电路品质有关之外，与外电路的负载关系也很大。

$$\text{纹波系数 } K_u = \frac{\text{交流电压有效值}}{\text{直流电压}} \times 100\%$$

### 3.2 电源的开路电压和短路电流

开路电压是指电源在断路时的输出电压值，短路电流是指外电源短路时的最大电流。由于电压表的内阻不是无穷大，而电流表内阻也不可能为零，而且电源短路的时候容易烧毁电源，因此不能直接用电压表或电流表测量电源的开路电压和短路电流。

对于有些电源，比如干电池，因为具有非线性内阻，因此也不适用 U-I 曲线外推法进行测量。因此我们采用等效电路或补偿法来进行测量，电路图如下：

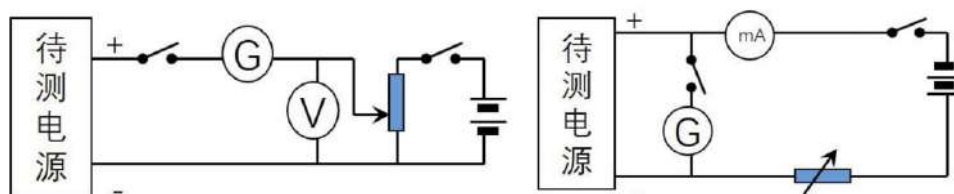


图 1: 等效电路法测量开路电压和短路电流的电路图

## 4 实验步骤

1. 测量负载功率曲线
  - (a) 将信号发生器调至频率为 500Hz,  $U_{p-p} = 10V$ , 正弦交流信号, 电容选用  $1\mu F$ , 在面包板上连接型全波整流滤波电路。
  - (b) 负载端连接电阻箱, 在  $20 - 2000\Omega$  范围内改变电阻箱电阻, 用万用表测量负载上的直流电压, 记录并计算负载功率。
2. 测量纹波系数曲线
  - (a) 同上述电路
  - (b) 负载端连接电阻箱, 在  $20 - 2000\Omega$  范围内变化, 用万用表测量负载上的直流电源和交流电压, 记录并计算负载的纹波系数。
3. 改用单个  $10\mu F$  电容, 连接全波整流滤波电路, 重复上述实验内容
4. 测量电源的开路电压与短路电流
  - (a) 调零各电表, 按图 1 左图所示连接电路。缓慢调节滑动变阻器直至电子检流计示数为 0, 读出此时的电压表示数。
  - (b) 调零各电表, 按图 1 右图所示连接电路。缓慢调节滑动变阻器直至电子检流计示数为 0, 读出此时的电流表示数。
5. 电表改装与定标
  - (a) 测量  $100\mu A$  直流电流表的内阻, 并将  $100\mu A$  直流电流表改装成  $2.00V$  量程的电压表, 并标明元件数值。
  - (b) 对上述改装电表进行定标, 比较与实际电压表的差异并进行分析。

## 5 实验数据与分析

### 5.1 $1\mu F$ $\pi$ 型全波整流滤波电路的负载功率测量

表 1  $1\mu F$   $\pi$  型全波整流滤波电路的负载功率

负载/ $\Omega$	直流电压/V	功率/mW
20	0.0523	0.137
200	0.4552	1.036
500	0.9509	1.808
800	1.3055	2.130
1100	1.577	2.261
1300	1.7256	2.290
1350	1.7595	2.293
1400	1.7951	2.302
1450	1.8225	2.290
1500	1.8546	2.293
1700	1.9664	2.275
2000	2.1114	2.229

根据上述数据绘制功率关于负载变化曲线如下：

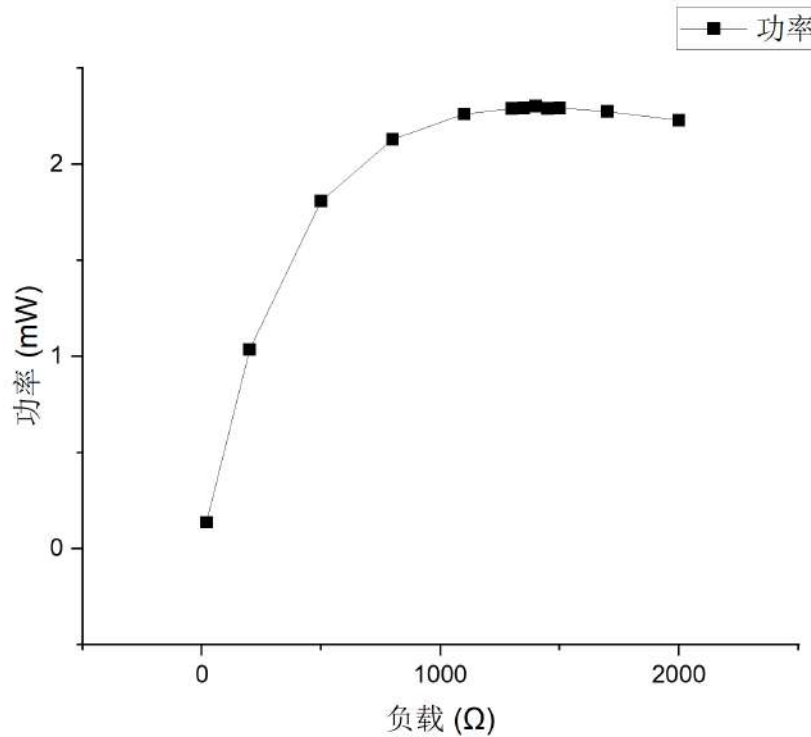


图 2:  $1\mu\text{F}$   $\pi$  型全波整流滤波电路 P-R 关系曲线

容易看出功率的最大值大约在  $1300 - 1500\Omega$  区间内取得，在这段区间内密集取点测量，绘制出放大后的图线如下：

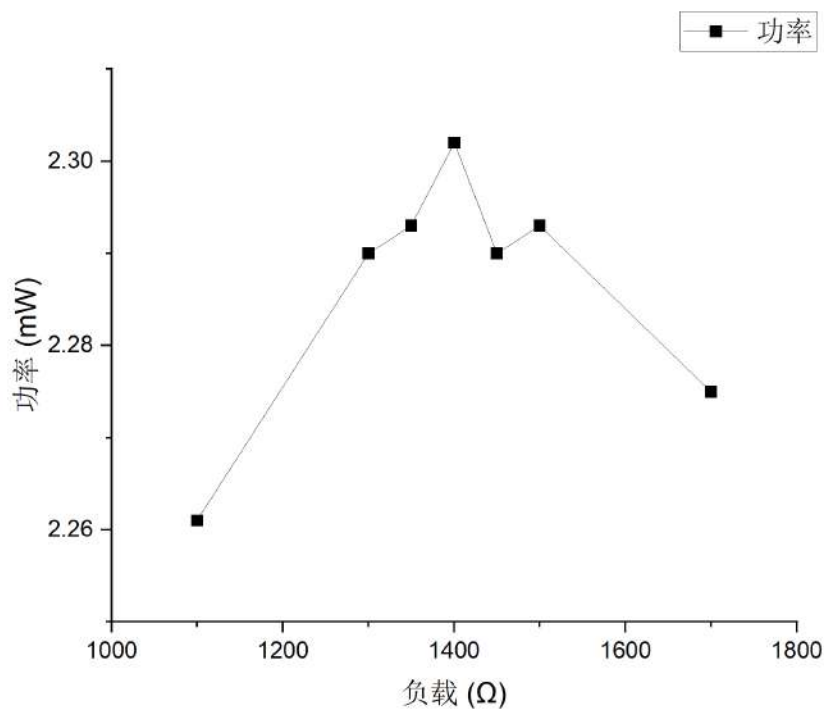


图 3:  $1\mu\text{F}$   $\pi$  型全波整流滤波电路 P-R 关系曲线 (局部放大)

从中可以看出功率的最大值在  $R = 1400\Omega$  处取得，最大功率约为  $P = 2.302 \text{ mW}$

### 5.2 1 $\mu$ F $\pi$ 型全波整流滤波电路的纹波系数测量

表 2 1 $\mu$ F  $\pi$  型全波整流滤波电路的纹波系数

负载/ $\Omega$	直流电压/V	交流电压/V	纹波系数/%
20	0.0526	0.0096	18.251
50	0.1243	0.0215	17.297
100	0.2441	0.0351	14.379
200	0.4549	0.0476	10.464
300	0.6400	0.0514	8.031
500	0.9500	0.0512	5.389
800	1.3070	0.0470	3.596
1000	1.4954	0.0440	2.942
1200	1.6547	0.0414	2.502
1500	1.8560	0.0378	2.037
1800	2.0198	0.0347	1.718
2000	2.1136	0.0329	1.557

根据上述数据画出纹波系数随负载变化的曲线如下：

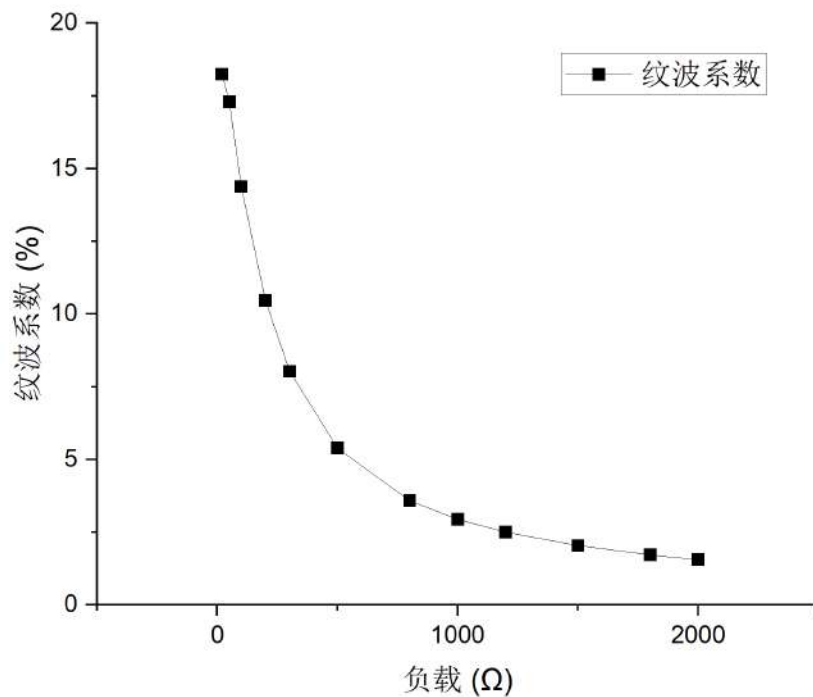


图 4: 1 $\mu$ F  $\pi$  型全波整流滤波电路纹波系数曲线

由图像知，纹波系数随负载阻值的增加而减小，且曲线逐渐趋于平缓。

### 5.3 10 $\mu$ F $\pi$ 型全波整流滤波电路的负载功率和纹波系数测量

表 3 10 $\mu$ F  $\pi$  型全波整流滤波电路的负载功率和纹波系数

负载/ $\Omega$	直流电压/V	交流电压/V	功率/mW	纹波系数/%
20	0.5315	0.2344	14.12	44.102
100	1.4431	0.2190	20.83	15.176
120	1.5976	0.2117	21.27	13.251
130	1.6545	0.2061	21.06	12.457
150	1.7595	0.1949	20.63	11.077
200	1.9792	0.1735	19.59	8.766
500	2.5705	0.1036	13.21	4.030
800	2.8156	0.0754	9.91	2.678
1100	2.9604	0.0598	7.97	2.020
1400	3.0406	0.0499	6.60	1.641
1700	3.1124	0.0430	5.70	1.382
2000	3.1675	0.0381	5.02	1.203

根据上述数据绘制功率关于负载变化曲线如下：

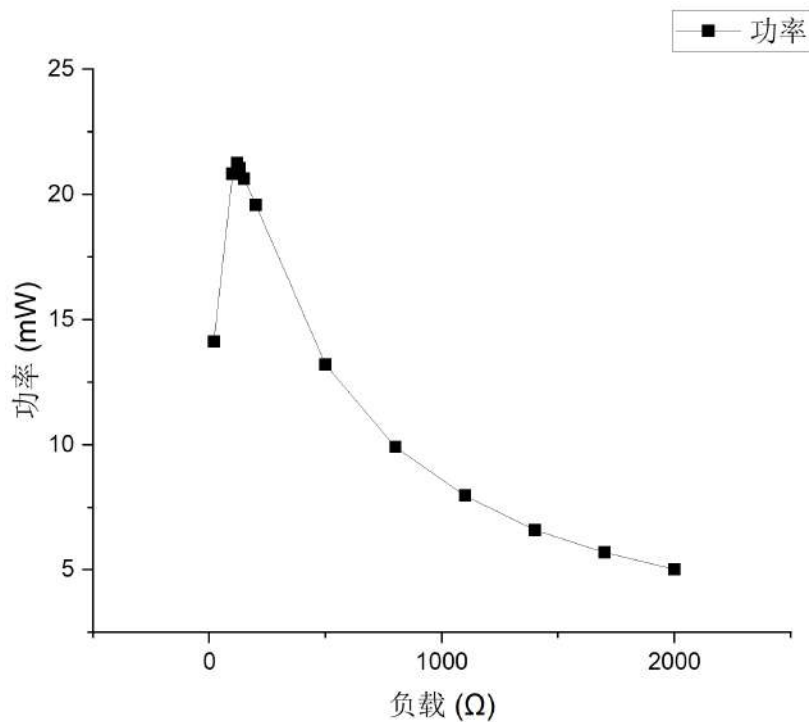


图 5: 10 $\mu$ F  $\pi$  型全波整流滤波电路 P-R 关系曲线

容易看出功率的最大值大约在 20 – 200 $\Omega$  区间内取得，在这段区间内密集取点测量，绘制出放大后的图线如下：

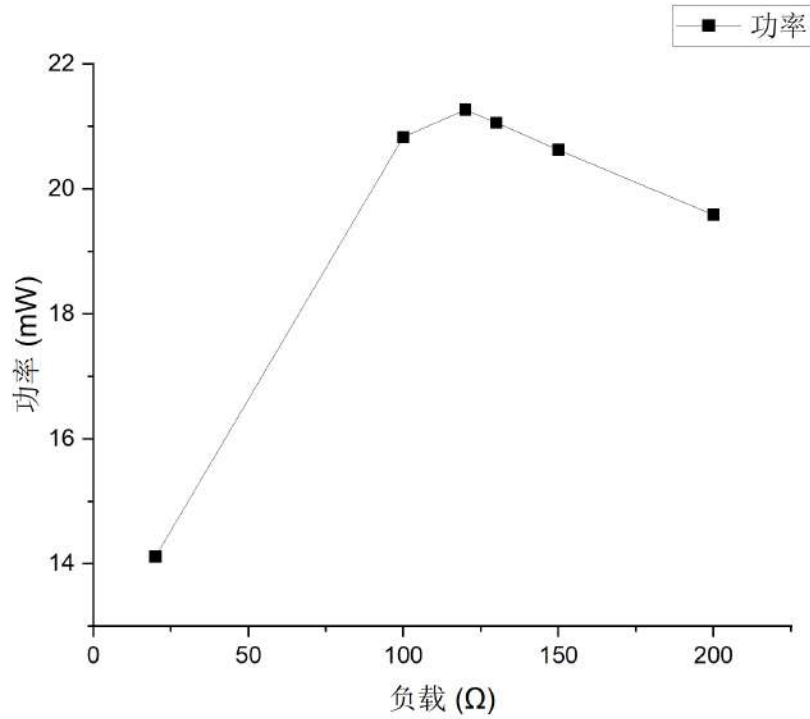


图 6: 10μF π 型全波整流滤波电路 P-R 关系曲线 (局部放大)

从中可以看出功率的最大值在  $R = 120\Omega$  处取得, 最大功率约为  $P = 21.27\text{ mW}$   
根据上述数据中的纹波系数, 绘制纹波系数随负载变化的曲线如下:

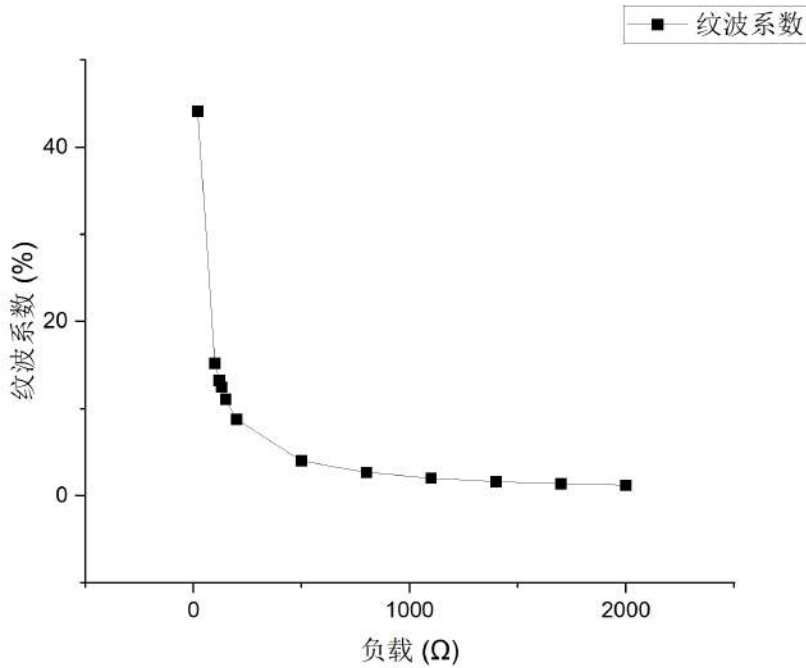


图 7: 10μF π 型全波整流滤波电路纹波系数曲线

对比上面两个实验:

1. 两个实验中, 负载功率都随负载电阻大小先上升后下降, 且上升速度较快, 符合理论分析的结果。然而, 单大电容滤波电路的负载功率峰值位置负载电阻远小于小电容 π 型滤波, 这表明单大电容滤波的损失更小, 具有更大的直流电压, 因此峰值出现的更早。
2. 对比 1μF π 型全波整流滤波电路和 10μF 单电容全波整流电路的结果, 在两个实验当中, 纹波系数均随负载阻值的增加而减小, 且曲线逐渐趋于平缓。但是, 在负载电阻较小 ( $\leq 100\Omega$ ) 时, 小电容 π 型滤波纹波系数小于单大电容滤波, 具有更好的如履效果; 然而在负载电阻较大时, 单大电容滤波的效果优于小电容 π 型滤波, 但是差异并不显著。

### 5.4 非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定

依实验步骤，按照图 1 分别连接两种电路，测量得到：

表 4 电源的开路电压和短路电流的测定

开路电压/V	短路电流/mA	电源内阻/ $\Omega$
1.5959	5.437	293.53

测量得到开路电压  $U = 1.5959 \text{ V}$ ，短路电流  $I = 5.437 \text{ mA}$ ，计算得到

$$r = \frac{U}{I} = \frac{1.5959}{5.437 \times 10^{-3}} = 293.53\Omega$$

### 5.5 电表改装

#### 5.5.1 等效替代法测量电流表内阻

本部分实验步骤：

1. 如图 8 连接好电路；
2. 拨动单刀双掷开关，将待测的  $100\mu\text{A}$  电流表接入电路，记下辅助电流表示数  $I$ ；
3. 拨动单刀双掷开关，断开待测电流表，将电阻箱接入电路，调节电阻箱使辅助电流表的示数仍为  $I$ ，则此时电阻箱的阻值即为待测电流表的内阻。

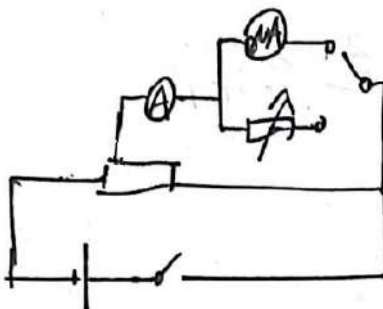


图 8: 测量  $100\mu\text{A}$  电流表内阻的电路图

测得  $100\mu\text{A}$  电流表的内阻  $r = 1150\Omega$ 。

#### 5.5.2 将电流表改装为电压表

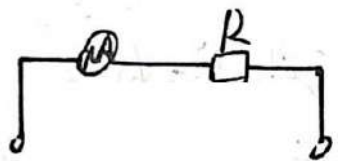


图 9: 电流表改装电压表电路图

要将  $100\mu\text{A}$  的电流表改装成  $2\text{V}$  电压表，只需要串联一个电阻  $R$ ，其中：

$$R = 18850\Omega$$

### 5.5.3 改装电表的定标

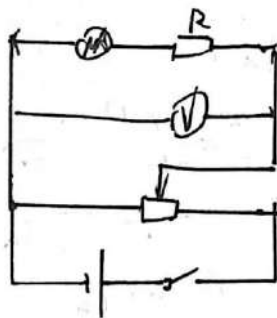


图 10: 改装电压表的定标电路图

如图接电路，移动滑动变阻器至不同阻值处，同时读出标准电压表和电流表的读数即可。

表 5 改装电表的定标

电流表读数/mA	改装电压表/V	标准电压表/V	相对误差/%
60.5	1.210	1.2266	1.35
51.2	1.024	1.0245	0.05
46.3	0.926	0.9307	0.50
40.9	0.818	0.8189	0.11
31.2	0.624	0.6255	0.24

由表 5 的数据可以看出，改装电压表的测量误差较小。

## 6 思考题

1. 简述单大电容和小电容  $\pi$  型滤波的优劣。

- (a) 单大电容滤波电路适用于频率较低、负载阻值较小的情况，此时负载的直流电压大，功率大，纹波系数小，滤波效果好；同时，单大电容滤波电路设计简单，成本低廉，易于实现。然而它不能对高频信号进行有效滤波，而且对于低频信号的滤波效果也有限。
- (b) 小电容  $\pi$  型滤波电路适用于频率较高、负载阻值较大的情况，此时纹波系数小，滤波效果好。相比于单大电容滤波电路，它具有更好的滤波特性和频率选择性，可以实现更陡峭的滤波曲线和更高的抑制效果。然而它的设计更为复杂，成本也更高。

综上所述，小电容  $\pi$  型滤波适合滤波效果要求高的应用场景，大单电容滤波适用于简单的应用场景，实际电路设计过程中，应当权衡多种因素加以考虑。

2. 为什么测量电流表内阻时不采用半偏法？

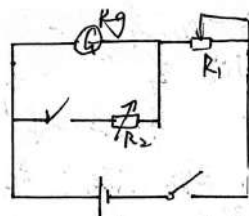


图 11: 半偏法测量电流表内阻电路图

如图为半偏法测量电流表内阻电路图，其中

$$R_1 = \frac{E}{I_g} - R_g \approx \frac{1.6}{100 \times 10^{-6}} - 1150 = 14850\Omega$$

在这种条件下  $R_1 \approx 13R_g$ ，并无法实现  $R_1 \gg R_g$ 。原因是本实验中电源电动势较低，调节后得到的  $R_1$  阻值较小。