
直流电源特性实验报告

PB22000197 李心玥

2023 年 5 月 23 日

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 实验原理

2.1 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。

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

2.2 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。由于电压表的内阻并非无穷大，电流表的内阻也并非为 0，而且电源短路时容易烧毁电源，所以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（如干电池），由于具有非线性内阻，因而也不适用 U-I 曲线外推法测量。

因此我们采用等效电路或补偿法进行测量，电路图如下：

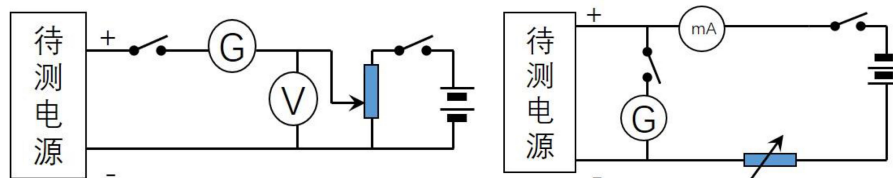


图 1: 等效电路法测量开路电压和短路电流的电路图

如左图，当电子检流计的示数为 0 时，说明没有电流通过该回路，即电压表两端电压与待测电源两端电压相等，此时电压表读数即为开路电压；如右图，当电子检流计的示数为 0 时，说明通过该支路的电流为 0，即通过电流表的电流与通过待测电源的电流相等，此时电流表读数即为短路电流。

3 实验仪器

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

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 ， $U_{p-p} = 10\text{V}$ ，正弦交流信号，电容选用 $1\mu\text{F}$ ，在面包板上连接 π 型全波整流滤波电路。
- (b) 负载端连接电阻箱，在 $20 \sim 2000\Omega$ 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

同上述电路，让电阻箱在 $20 \sim 2000\Omega$ 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 $10\mu\text{F}$ 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 所示连接电路。
- (b) 测量开路电压：先调节滑动变阻器至最下端，闭合开关；然后目视电子检流计，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。
- (c) 测量短路电流：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 测量记录

见附件

6 数据处理与误差分析

6.1 $1\mu F$ π 型全波整流滤波电路的负载功率测量

负载 (Ω)	直流电压 (V)	功率 (mW)
20	0.0380	0.072
100	0.1773	0.314
300	0.4656	0.723
500	0.6982	0.975
800	0.9731	1.184
1100	1.1892	1.286
1500	1.4169	1.338
1700	1.5099	1.341
1800	1.5536	1.341
1900	1.5970	1.342
1990	1.6323	1.339
2000	1.6362	1.338

表 1: $1\mu F$ π 型全波整流滤波电路的负载功率

根据如上数据，利用 Origin 软件绘制负载功率曲线如下：

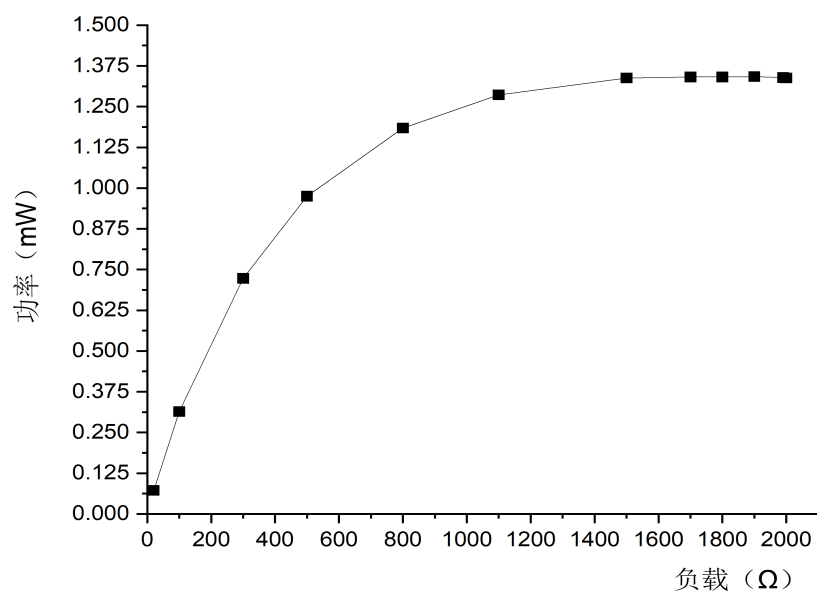


图 2: 利用 Origin 绘制的负载功率曲线

观察图像可知，负载最大功率对应的负载应在 $1400\Omega \sim 2000\Omega$ 之间，于是将这一段曲线放大，得到如下图像：

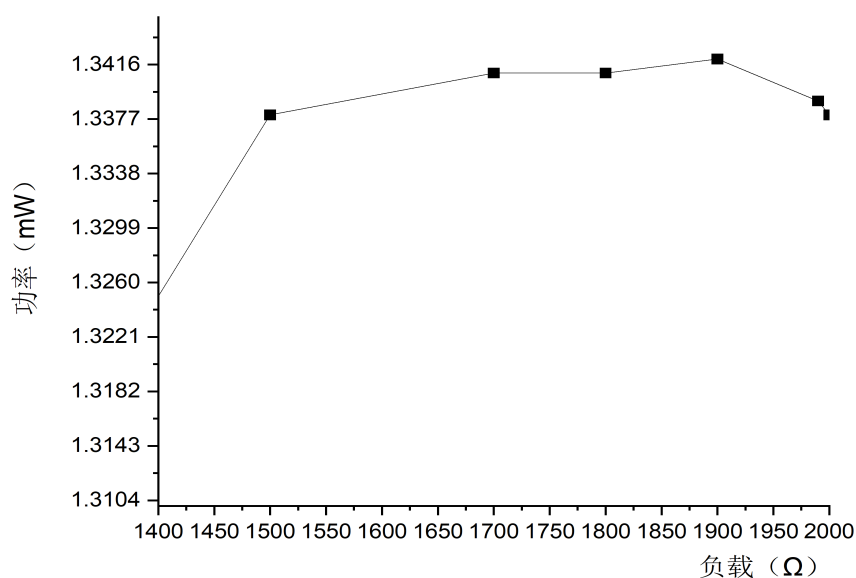


图 3: 利用 Origin 绘制的负载功率曲线 (放大后)

由图像知, 负载最大功率大约出现在 1900Ω 附近, 最大功率约为 1.342mW。

6.2 $1\mu F$ π 型全波整流滤波电路的纹波系数测量

负载 (Ω)	直流电压 (V)	交流电压 (V)	纹波系数
20	0.0387	0.0246	63.566%
50	0.0928	0.0561	60.453%
100	0.1774	0.0952	53.664%
200	0.3303	0.1358	41.114%
300	0.4676	0.1520	32.506%
500	0.6988	0.1588	22.725%
800	0.9733	0.1540	15.822%
1000	1.1222	0.1486	13.242%
1200	1.2516	0.1432	11.441%
1500	1.4169	0.1354	9.556%
1800	1.5565	0.1282	8.236%
2000	1.6384	0.1238	7.556%

表 2: $1\mu F$ π 型全波整流滤波电路的纹波系数

根据如上数据，利用 Origin 软件绘制负载的纹波系数曲线如下。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。

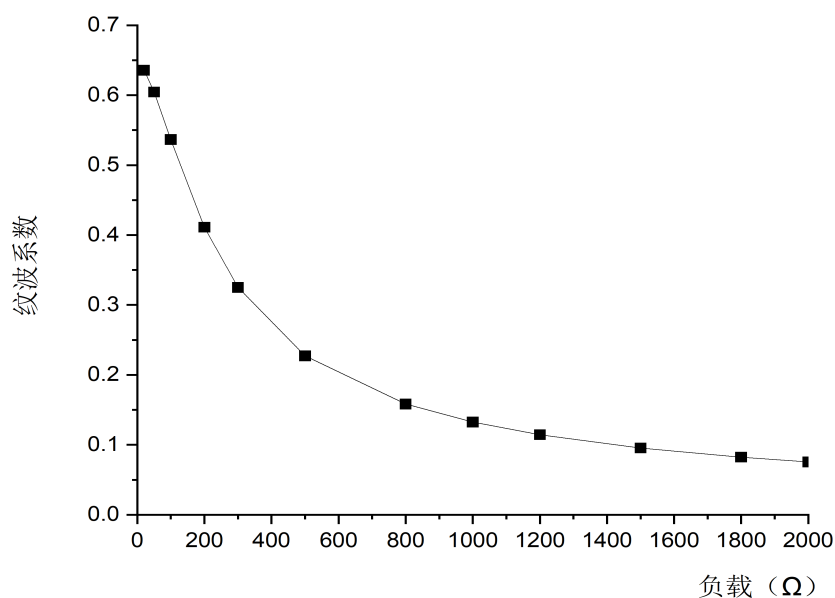


图 4: 利用 Origin 绘制的纹波系数曲线

6.3 $10\mu F$ 单电容全波整流滤波电路

负载 (Ω)	直流电压 (V)	交流电压 (V)	功率 (mW)	纹波系数
20	0.4887	0.2131	11.94	43.605%
30	0.6625	0.2335	14.63	35.245%
50	0.9407	0.2384	17.70	25.343%
100	1.4037	0.2124	19.70	15.131%
200	1.9053	0.1655	18.15	8.686%
300	2.1884	0.1356	15.96	6.196%
500	2.5136	0.1008	12.64	4.010%
800	2.7738	0.0737	9.62	2.657%
1000	2.8843	0.0629	8.32	2.181%
1300	3.0013	0.0517	6.93	1.723%
1600	3.0855	0.0441	5.95	1.429%
2000	3.1682	0.0369	5.02	1.165%

表 3: $10\mu F$ 单电容全波整流滤波电路的负载功率和纹波系数

根据以上数据，利用 Origin 分别绘制负载功率曲线和纹波系数曲线如下：

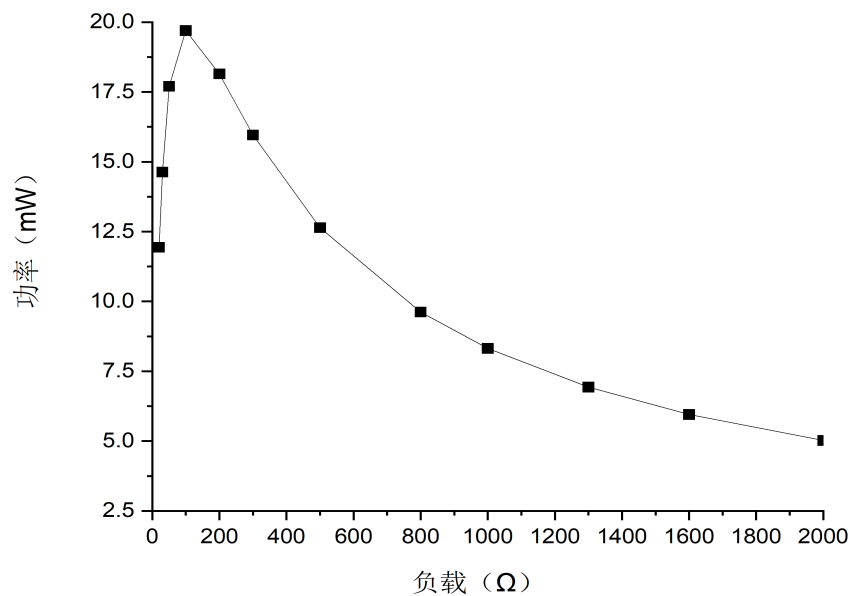


图 5: 利用 Origin 绘制的 $10\mu F$ 单电容电路负载功率曲线

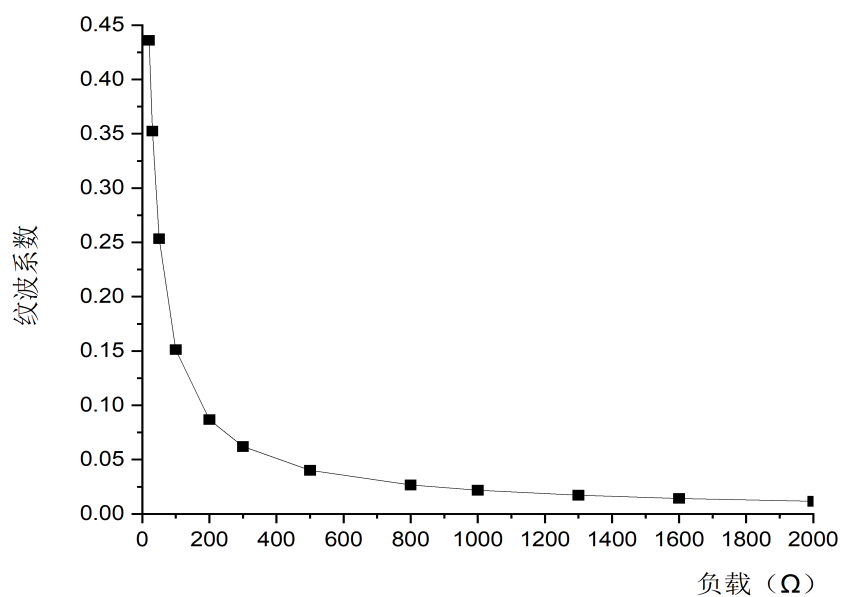


图 6: 利用 Origin 绘制的 $10\mu F$ 单电容电路纹波系数曲线

由图 5 知，负载从 0Ω 增加到 100Ω 时，功率逐渐升高；在 100Ω 附近功率达到最大值，约为 19.70mW ；当负载超过 100Ω 继续增加时，功率逐渐降低。

由图 6 知，随着负载增大，纹波系数逐渐降低。

比较 $1\mu\text{F}$ π 型全波整流滤波电路和 $10\mu\text{F}$ 单电容全波整流滤波电路可知：

1. 两种电路的负载功率都随着负载的增大有着先增后减的趋势，但它们达到最大输出功率时对应的负载阻值不同， $1\mu\text{F}$ π 型全波整流滤波电路达到最大输出功率时对应的负载阻值比 $10\mu\text{F}$ 单电容全波整流滤波电路的阻值大；此外，在相同的负载阻值下， $10\mu\text{F}$ 单电容全波整流滤波电路的直流电压更大，从而输出功率更大。
2. 两种电路的纹波系数都随着负载的增大而减小，但在相同的负载阻值下， $10\mu\text{F}$ 单电容全波整流滤波电路的纹波系数更小，说明其滤波效果更好。

综上所述，从实验结果的角度来看， $10\mu\text{F}$ 单电容整流滤波电路的效果比 $1\mu\text{F}$ π 型整流滤波电路要好。

6.4 非线性内阻电源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 (Ω)
1.5998	5.4172	295.32

表 4: 电源的开路电压和短路电流的测定

测得开路电压 $U = 1.5998\text{V}$ ，短路电流 $I = 5.4172\text{mA}$ ，计算得内阻

$$r = \frac{U}{I} = \frac{1.5998}{5.4172 \times 10^{-3}} = 295.32\Omega$$

6.5 电表改装

6.5.1 等效替代法测量电流表内阻

如图 7 连接好电路，先将待测的 $100\mu\text{A}$ 电流表接入电路，记下辅助电流表示数 I ；然后断开待测电流表，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。

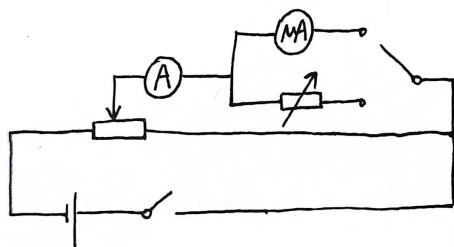


图 7: 测量 $100\mu A$ 电流表内阻的电路图

按上述方法测得 $100\mu F$ 电流表的内阻 $r = 1100\Omega$ 。

6.5.2 将电流表改装为电压表

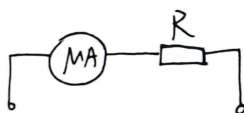


图 8: 改装电压表

将 $100\mu A$ 的电流表改装成 $2V$ 电压表，需要串联一个电阻 R ，其阻值为：

$$R = \frac{U_m}{I_m} - r = \frac{2}{100 \times 10^{-6}} - 1100 = 18900\Omega$$

6.5.3 改装电表的定标

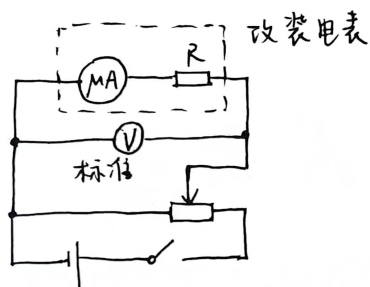


图 9: 改装电表的定标电路图

如图 9 连接电路，移动滑动变阻器至不同阻值处，分别读出标准电压表和改装电压表的电压，测得数据如下：

改装电压表 (V)	标准电压表 (V)	相对误差
1.580	1.5697	0.65%
1.540	1.5248	0.99%
1.510	1.5056	0.29%
0.730	0.7182	1.64%
0.320	0.3026	5.75%

表 5: 改装电表的定标

由表 5 的数据可以看出, 当待测电压值较大 (1.5V 以上) 时, 改装电表的测量相对误差可以达到 1% 以内。

7 实验讨论

通过本次实验, 我进一步加深了对整流滤波原理的理解, 学习了直流电源特性的相关知识, 体会了电学实验的基本思想。

8 思考题

1. 简述单大电容和小电容 π 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 π 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, 单大电容滤波适用于一些对滤波要求不高的简单应用, 例如直流信号的平滑和降噪。小电容 π 型滤波则适用于对滤波要求较高的应用, 例如音频信号处理、射频滤波等。选择合适的滤波类型应根据具体应用的要求和限制进行权衡。

2. 为什么测量电流表内阻时不采用半偏法?

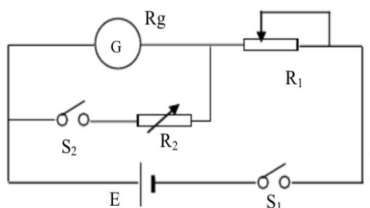


图 10: 半偏法测量电流表内阻电路图

S_2 断开时，电流表指针满偏，此时有：

$$I_g = \frac{E}{R_g + R_1} \quad (1)$$

S_1 闭合时，电流表指针半偏，此时有：

$$\frac{1}{2}I_g + \frac{\frac{1}{2}I_g R_g}{R_2} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_g R_2}{R_g + R_2}} \quad (2)$$

联立 (1)(2) 解得 $R_g = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{R_1 R_g}{R_1 + R_g}$ ，当 $R_1 \gg R_g$ 时，可以认为 $R_g = R_2$ 。然而在本实验中，

$$R_1 = \frac{E}{I_g} - R_g \approx \frac{1.6}{100 \times 10^{-6}} - 1100 = 14900\Omega \approx 13R_g$$

因此

$$\frac{R_g - R_2}{R_g} = \frac{R_g - \frac{R_1 R_g}{R_1 + R_g}}{R_g} = \frac{R_g}{R_1 + R_g} \approx 7.1\%$$

相对误差达到了 7.1%，故半偏法在本实验中不适用。究其原因，是因为本实验使用的电源电动势较低，导致无法实现 $R_1 \gg R_g$ 。