

直流电源特性实验

作者：张积翔 学号：PB23020595

摘要：

本实验目的是掌握直流电源特性的测量方法，了解负载对电源输出特性的影响，掌握非线性内阻电源开路电压和短路电流的测量方法。本实验测量了不同负载下的负载功率及电源的纹波系数，并改变滤波电路的电容比较不同电容对上述实验结果的影响，使用等效电路法测定非线性内阻电源开路电压和短路电流，测量直流电流表的内阻并设计改装电压表的原理图。

关键词：直流电源；滤波电路；纹波系数；开路电压；短路电流；电表改装

1. 引言

直流电是指方向和时间不作周期性变化的电流，但电流大小可能不固定，可以有一定波动，主要应用于各种电子仪器、电解、电镀、直流电力拖动等方面。

对于广泛使用的交流电，可以通过整流滤波电路将交流电转化为直流电，这不可避免地在直流稳定量中带有一定交流成分，这种叠加在直流稳定量上的交流分量就称之为纹波。

电源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。可采用等效电路法或补偿法来进行测量。

2. 实验原理与内容

2.1 实验仪器

信号发生器、数字电压表（直流电源档、交流电源档）、检流计、电阻箱、滑动变阻器、面包板、微安表、干电池、整流二极管 4 个、电容、电阻、导线若干

2.2 实验原理

2.2.1 纹波系数

一般可以用交流成分的有效值来表示整流滤波电路中纹波绝对强度的大小。纹波系数是指负载上交流电压与直流电压之比，是表征直流电源品质的重要参数，同时也与外电路负载有很大关系。

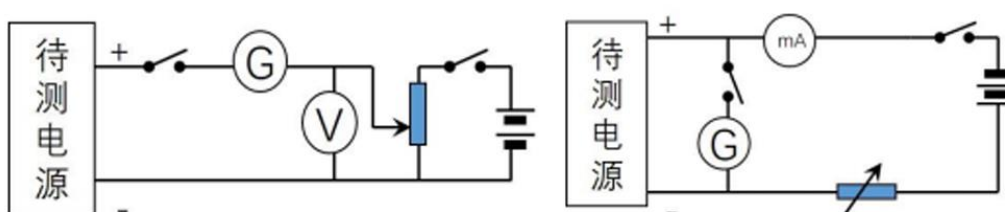
$$\text{纹波系数} k_u = \frac{\text{交流电压有效值}}{\text{直流电压}} \times 100\%$$

2.2.2 电源开路电压和短路电流

由于电压表内阻不为无穷大，电流表内阻不可忽略，电源短路时容易烧毁电源，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，因此也不适用于 U-I 曲线外推法进行测量。

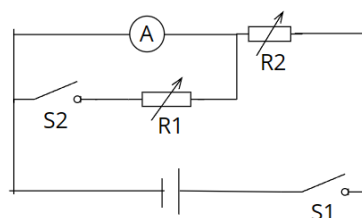
因此实验采用等效电路法来进行测量，电路图如下：



等效电路法测量开路电压和短路电流电路图

2.2.3 直流电流表内阻测量及改装

采用半偏法测量直流电流表内阻，电路图如下：



首先闭合 S1，打开 S2，调节 R2 使电流表满偏；闭合 S2，调节 R1 使电流表半偏，在 R2 远大于 R1 时，R1 读数即为电流表内阻。若想得到更精确数值，由于闭合 S2 相当于整个电路电阻减少了约 $R1/2$ ，故将 R2 增加 $R1/2$ 来补偿，再次调节 R1 使电流表半偏，此时得到的 R1 读数即为更精确的电流表内阻。

2.3 实验内容

2.3.1 测量不同负载下的功率及纹波系数

- 1) 测量负载功率曲线：将信号发生器的频率调至 500Hz， V_{p-p} 调至 10V，输出正弦交流信号。选取 $1\mu F$ 的电容，在面包板上连接 π 型全波整流滤波电路，负载 R_L 连接电阻箱，在 20 到 2000 Ω 范围内测量负载的功率。

2) 测量纹波系数曲线：在进行 1) 时同时用数字电压表测量输出端的直流、交流电压，并计算不同负载下的纹波系数。

3) 电容对纹波系数的影响：改用 $10\ \mu\text{F}$ 的电容搭建单电容全波整流滤波电路，重复 1) 和 2) 的内容，并分析不同电容的优劣。

2.3.2 非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定

搭建等效电路法实验电路，调节滑动变阻器和电阻箱至检流计示数为零，读出电压表示数和毫安表示数，得到待测电源 E_x 的开路电压和短路电流，并由此计算待测干电池内阻。

2.3.3 电表改装

通过半偏法测量 $100\ \mu\text{A}$ 直流电流表的内阻，并进行相应的误差分析。将 $100\ \mu\text{A}$ 直流电流表改装成 2.00V 量程的电压表，画出改装电路图，并标明元件数值。

3. 实验结果与分析

3.1 不同负载下纹波系数和功率的测量

3.1.1 π 型全波整流滤波电路

选取 $1\ \mu\text{F}$ 的电容，在面包板上连接 π 型全波整流滤波电路，接入信号发生器产生的频率为 500Hz 、 V_{p-p} 为 10V 的正弦交流信号。接入电阻箱作为负载，在 20 至 $2000\ \Omega$ 范围内测量负载两端交流电压和直流电压。

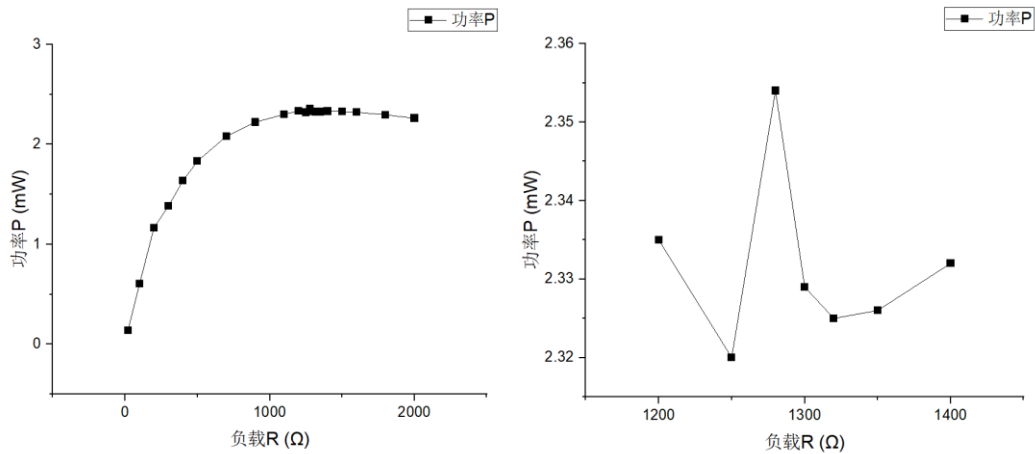
表 1： π 型全波整流滤波电路实验数据

负载电阻 (Ω)	交流电压 (V^{\sim})	直流电压 (V)	负载功率 (mW)	纹波系数 K
20	9.28×10^{-3}	52.73×10^{-3}	0.139	17.599%
100	34.45×10^{-3}	0.246	0.605	14.004%
200	48.10×10^{-3}	0.483	1.166	9.959%
300	51.02×10^{-3}	0.644	1.382	7.922%
400	51.67×10^{-3}	0.809	1.636	6.387%
500	51.02×10^{-3}	0.957	1.832	5.331%
700	48.36×10^{-3}	1.207	2.081	4.007%
900	45.29×10^{-3}	1.414	2.222	3.203%
1100	42.70×10^{-3}	1.591	2.301	2.684%
1200	41.29×10^{-3}	1.674	2.335	2.467%

1250	40.53×10^{-3}	1.703	2.320	2.380%
1280	40.13×10^{-3}	1.736	2.354	2.312%
1300	40.09×10^{-3}	1.740	2.329	2.304%
1320	39.87×10^{-3}	1.752	2.325	2.276%
1350	39.32×10^{-3}	1.772	2.326	2.219%
1400	38.90×10^{-3}	1.807	2.332	2.152%
1500	37.78×10^{-3}	1.869	2.329	2.021%
1600	36.76×10^{-3}	1.927	2.321	1.908%
1800	34.75×10^{-3}	2.033	2.296	1.709%
2000	33.94×10^{-3}	2.127	2.262	1.596%

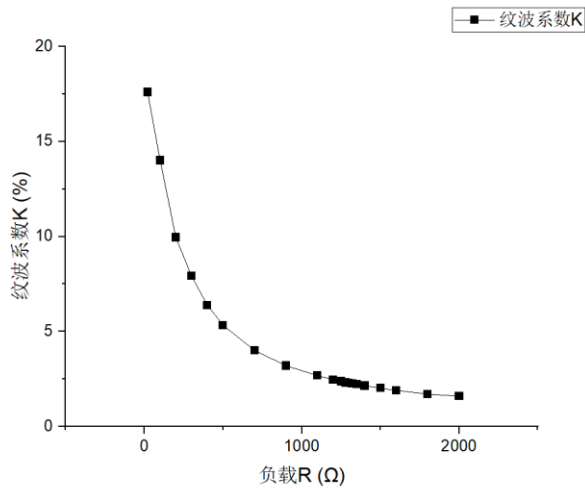
图 1: π 型全波整流滤波电路负载功率曲线

图 2: 部分放大后的负载功率曲线



由负载功率曲线知，当负载为 1280Ω 时，负载功率最大，为 2.354mW 。

图 3: π 型全波整流滤波电路纹波系数随负载变化曲线



由纹波系数随负载变化曲线知， π 型全波整流滤波电路的纹波系数 K 随负载 R 的增大而减小。

3.3.2 单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路

选取 $10\ \mu\text{F}$ 的电容，在面包板上连接单电容全波整流滤波电路，接入信号发生器产生的频率为 500Hz 、 V_{p-p} 为 10V 的正弦交流信号。接入电阻箱作为负载，在 20 至 $2000\ \Omega$ 范围内测量负载两端交流电压和直流电压。

表 2：单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路实验数据

负载电阻 (Ω)	交流电压 (V_{\sim})	直流电压 (V)	负载功率 (mW)	纹波系数 K
20	0.242	0.541	14.634	44.732%
100	0.233	1.493	22.290	15.606%
110	0.224	1.547	21.756	14.476%
120	0.218	1.611	21.628	13.532%
125	0.211	1.638	21.464	12.882%
130	0.215	1.685	21.840	12.760%
150	0.202	1.789	21.337	11.291%
170	0.192	1.872	20.614	10.256%
250	0.159	2.152	18.524	7.388%
350	0.133	2.366	15.994	5.621%
450	0.114	2.519	14.101	4.526%
550	0.1	2.633	12.605	3.798%
700	0.085	2.765	10.922	3.074%
800	0.077	2.829	10.004	2.722%
1000	0.066	2.93	8.595	2.253%
1200	0.057	3.005	7.525	1.897%
1400	0.051	3.062	6.697	1.666%
1600	0.046	3.112	6.053	1.478%
1800	0.042	3.155	5.530	1.331%
2000	0.039	3.188	5.082	1.223%

图 4：单电容全波整流滤波电路负载功率曲线

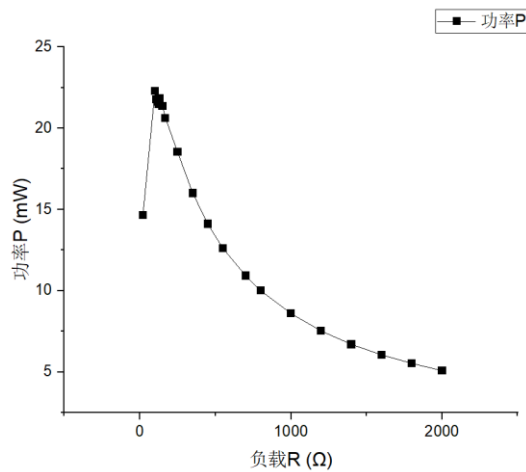
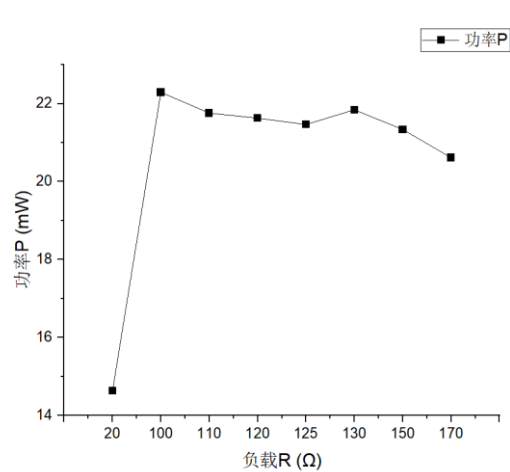
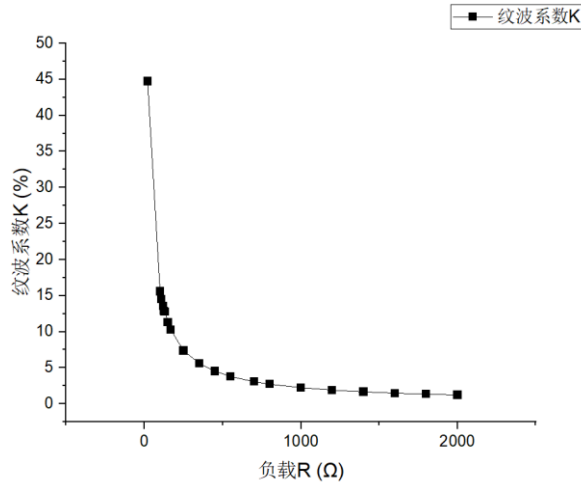


图 5：部分放大后的负载功率曲线



由负载功率曲线知，当负载为 $100\ \Omega$ 时，负载功率最大，为 22.29mW 。

图 6：单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路纹波系数随负载变化曲线



由纹波系数随负载变化曲线知，单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的纹波系数 K 随负载 R 的增大而减小。

结果分析：

- 1) 负载功率：两种整流滤波电路的负载功率都是先随负载的增大而增大，之后随着负载的增大而减小。 π 型全波整流滤波电路最大负载功率为 2.354mW ；单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的最大负载功率为 22.29mW 。因此单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的最大功率要大于 π 型全波整流滤波电路的最大功率。在同一负载下，比较二者的负载功率发现，单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的功率同样大于 π 型全波整流滤波电路的功率。
- 2) 纹波系数：比较两种电路的纹波系数发现，二者的纹波系数均随着负载的增大而减小，且相同负载下，当负载较小(约 $<200\ \Omega$) 时，单个 $10\ \mu\text{F}$ 电容全波整流滤波

电路的纹波系数大于 π 型全波整流滤波电路的纹波系数，即此时 π 型全波整流滤波电路滤波效果较好；当负载较大(约 $>200\Omega$)时，单个 $10\mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的纹波系数小于 π 型全波整流滤波电路的纹波系数，即此时单个 $10\mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路滤波效果较好。

3.2 非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定

搭建等效电路法实验电路，测得非线性内阻电源 E_x 的开路电压和短路电流：

表 3：等效电路法测得待测电源的开路电压和短路电流

开路电压（V）	短路电流（mA）
1.591	5.28

即待测非线性内阻电源 E_x 的开路电压为 1.591V ，短路电流为 5.28mA 。计算待测非线性内阻电源 E_x 的内阻为

$$r = \frac{U_{\text{开}}}{I_{\text{短}}} = 301.3\Omega$$

实验误差分析：

- 1）检流计可检测电流存在最小值导致电路中存在微小电流产生误差。
- 2）电压表及毫安表读数误差

3.3 直流电流表内阻测量及改装

3.3.1 $100\mu\text{A}$ 直流电流表内阻测量

如实验原理中搭建半偏法实验电路，第一次使 $100\mu\text{A}$ 直流电流表半偏得到数据如下：

表 4：第一次半偏法实验数据

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$
1039	14440

为得到更精确的电流表内阻，将 R_2 增加 $R_1/2$ 的内阻并再次半偏，得到实验数据如下表：

表 5：第二次半偏法实验数据

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$
1120	14960

由实验数据知，待测 $100\mu\text{A}$ 直流电流表电阻约为 1120Ω 。

误差分析：

分析半偏法实验电路，利用基尔霍夫方程组求解得到待测电流表内阻精确值为：

$$R_A = \frac{R_1 \times R_2}{R_2 - R_1} = 1119.56\Omega$$

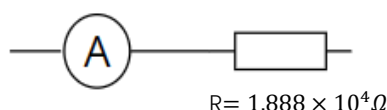
由此可知使用两次半偏法测得的电阻值较理论值偏大但误差远小于所测电阻值。

3.3.2 将电流表改装为电压表

通过将 3.3.1 中 $100\mu\text{A}$ 直流电流表与电阻 R 串联改装为电压表，且 R 电阻为：

$$R = \frac{U}{I} - R_A = 1.888 \times 10^4\Omega$$

改装电表原理图如下：



如图连接电路即可将 $100\mu\text{A}$ 直流电流表改装为量程为 2.00V 的电压表。

4. 思考题

简述单大电容和小电容 π 型电路的优劣：

- 1) 输出功率：单大电容电路的最大输出功率大于 π 型电路输出功率，且相同负载下，单大电容电路的输出功率仍大于 π 型电路输出功率。故在输出功率方面，单大电容电路占优。
- 2) 滤波效果：相同负载下，当负载较小时，单大电容电路的纹波系数大于小电容 π 型电路的纹波系数，即此时小电容 π 型电路滤波效果较好；当负载较大时，单大电容全波整流滤波电路的纹波系数小于小电容 π 型电路的纹波系数，即此时单大电容全波整流滤波电路滤波效果较好。

5. 结论

本实验测量了不同负载下 $1\mu\text{F}$ π 型全波整流滤波电路和单个 $10\mu\text{F}$ 电容全波整流滤波电路的负载功率及纹波系数并绘制曲线，比较了两种电路的优劣。测定了非线性内阻电源的开路电压为 1.591V ，短路电流为 5.28mA 并计算得到内阻为 301.3Ω 。利用半偏法测量了直流电流表的内阻为 1119.56Ω 并进行误差分析，同时将电流表设计改装为电压表。

6. 参考文献

- [1]. 直流电源特性. 实验讲义. 2024
- [2]. 胡友秋等. 电磁学与电动力学. 上册[M]. 2 版. 北京：科学出版社. 2014

附录：老师签字的原始数据

直流电源特性实验数据

学号: PB203020595 姓名: 张积羽 学院: 物理学院 日期:

实验内容:

一、 基础内容 (必做)

1. 测量负载功率曲线:

2. 测量纹波系数曲线:

两个 $1\mu\text{F}$ 双电容 π 型全波整流滤波

负载电阻 (Ω)	20	100	200	300	400	500	700	900	1100	1200
交流电压 (V^{\sim})	9.28×10^{-3}	34.45×10^{-3}	48.10×10^{-3}	51.02×10^{-3}	51.67×10^{-3}	51.02×10^{-3}	48.36×10^{-3}	45.29×10^{-3}	42.70×10^{-3}	41.29×10^{-3}
直流电压 (V)	52.73×10^{-3}	0.246	0.483	0.644	0.809	0.957	1.207	1.414	1.591	1.674
负载电阻 (Ω)	1250	1280	1300	1320	1350	1400	1500	1600	1800	2000
交流电压 (V^{\sim})	40.53×10^{-3}	40.13×10^{-3}	40.09×10^{-3}	39.87×10^{-3}	39.32×10^{-3}	38.90×10^{-3}	37.78×10^{-3}	36.76×10^{-3}	34.75×10^{-3}	33.94×10^{-3}
直流电压 (V)	1.703	1.736	1.740	1.752	1.772	1.807	1.869	1.927	2.033	2.127

最大输出功率时负载大小: 1280Ω

单个 $10\mu\text{F}$ RC 电路全波整流滤波

负载电阻 (Ω)	20	100	130	150	170	250	300	450	550	700	110	120
交流电压 (V^{\sim})	0.242	0.233	0.211	0.202	0.192	0.159	0.133	0.114	0.100	85.00×10^{-3}	0.224	0.218
直流电压 (V)	0.541	1.493	1.685	1.789	1.872	2.152	2.366	2.519	2.633	2.765	1.547	1.611
负载电阻 (Ω)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	125	
交流电压 (V^{\sim})	77.27×10^{-3}	70.85×10^{-3}	65.60×10^{-3}	61.10×10^{-3}	57.28×10^{-3}	53.88×10^{-3}	50.82×10^{-3}	45.87×10^{-3}	41.96×10^{-3}	38.67×10^{-3}	0.215	
直流电压 (V)	2.829	2.884	2.930	2.973	3.005	3.039	3.062	3.112	3.155	3.188	1.638	

最大输出功率时负载大小: 100Ω

二、 提升内容 (必做)

待测电源 E_x 开路电压: 1.591 (V) 短路电流: ~~5~~ (mA)

内阻:

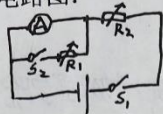
5.28

转背面

张积羽
4.29

三、进阶内容（选作）

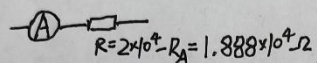
内阻测量电路图：



简述原理：~~闭合~~闭合 S_1 ，打开 S_2 ，调节 R_2 使④满偏；闭合 S_2 ，调节 R_1 使④半偏，得到内阻与 R 相等

电流表内阻： $R_2 = 14440\Omega$ ， $R_1 = 1039\Omega$ ， $R_2' = 14960\Omega$ ， $R_1' = 1120\Omega$ ， $R_A = R_1' = 1120\Omega$

改装电压表原理图并标明元件数值：



$$R = 2 \times 10^4 \Omega, R_A = 1.888 \times 10^4 \Omega$$

四、高阶内容（选作）

改装电表定标，并与实际测量值进行比较：