

# 实 验 报 告

评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

## 一、实验题目：整流滤波电路和直流电源特性实验

### 二、实验目的：

1. 了解交流信号的几个参数，学习整流滤波电路的基本工作原理及制作一台直流电源。
2. 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。

### 三、实验原理：

#### 1. 整流滤波

整流电路的作用是把交流电转换成直流电，严格地讲是单方向大脉动直流电，而滤波电路的作用是把大脉动直流电处理成平滑的脉动小的直流电。

##### (1) 整流原理

利用二极管的单向导电性可实现整流。

##### 1) 半波整流

图 6.2.1-2 中 D 是二极管，RL 是负载电阻。若输入交流电为  $u_i(t) = U_p \sin \omega t$

$$u_0(t) = U_p \sin \omega t \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

则经整流后输出电压  $u_0(t)$  为（一个周期内）  $u_0(t) = 0 \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi$

其相应的平均值（即直流平均值，又称直流分量）  $\overline{u_0} = \frac{1}{T} \int_0^T u_0(t) dt = \frac{1}{\pi} U_p \approx 0.318 U_p$

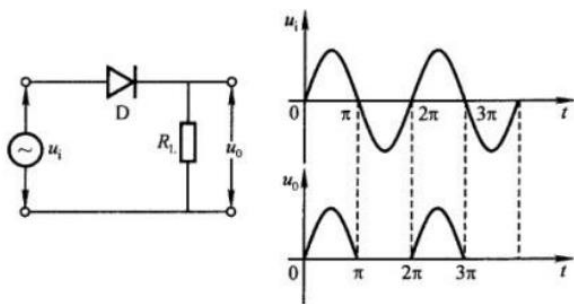


图 6.2.1-2 半波整流电路及其波形图

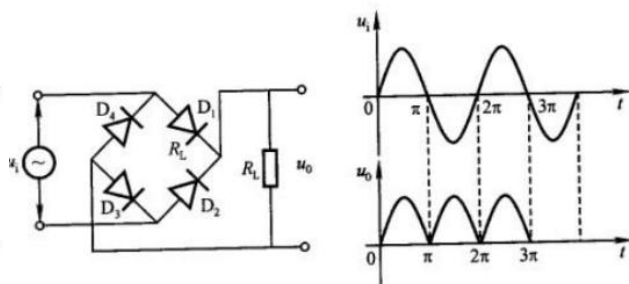


图 6.2.1-3 桥式整流电路和波形图

##### 2) 全波桥式整流

前述半波整流只利用了交流电半个周期的正弦信号。为了提高整流效率，使交流电的正负半周信号都被利用，则应采用全波整流，现以全波桥式整流为例，其电路和相应的波形如图 6.2.1-3 所示。

若输入交流电仍为  $u_i(t) = U_p \sin \omega t$

$$u_0 = U_p \sin \omega t \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

则经桥式整流后的输出电压  $u_0(t)$  为（一个周期）  $u_0 = -U_p \sin \omega t \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi$

其相应直流平均值为  $\overline{u_0} = \frac{1}{T} \int_0^T u_0(t) dt = \frac{2}{\pi} U_p \approx 0.637 U_p$

由此可见，桥式整流后的直流电压脉动大大减少，平均电压比半波整流提高了一倍（忽略整流内阻时）。

# 实 验 报 告

评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

## (2) 滤波电路

经过整流后的电压（电流）仍然是有“脉动”的直流电，为了减少被波动，通常要加滤波器，常用的滤波电路有电容、电感滤波等。现介绍最简单的滤波电路。

1) 电容滤波电路电容滤波器是利用电容充电和放电来使脉动的直流电变成平稳的直流电。我们已经知道电容器的充、放电原理，RC 电路的时间常数  $\tau = RC$ ，其中  $R$  为回路中的电阻， $C$  为电容值。图 6.2.1-4 和 6.2.1-5 所示为电容滤波器在带负载电阻后的工作情况。设在  $t_0$  时刻接通电源，整流元件的正向电

阻很小，可略去不计，在  $t=t_1$  时， $U_C$  达到峰值  $\sqrt{2}U_i$ 。此后  $U_i$  以正弦规律下降直到  $t_2$  时刻，二极管  $D$  不再导电，电容开始放电， $U_C$  缓慢下降，一直到下一个周期。电压  $U_i$  上升到和  $U_C$  相等时，即  $t_3$  以后，二极管  $D$  又开始导通，电容充电，直到  $t_4$ 。在这以后，二极管  $D$  又截止， $U_C$  又按上述规律下降，如此周而复始，形成了周期性的电容器充电放电过程。在这个过程中，二极管  $D$  并不是在整个半周内都导通的，从图上可以看到二极管  $D$  只在  $t_3$  到  $t_4$  段内导通并向电容器充电。由于电容器的电压不能突变，故在这一小段时间内，它可以被看成是一个反电动势（类似蓄电池）。

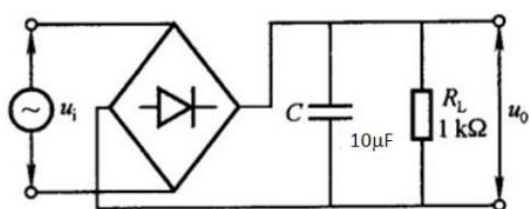


图 6.2.1-4 全波整流电容滤波器

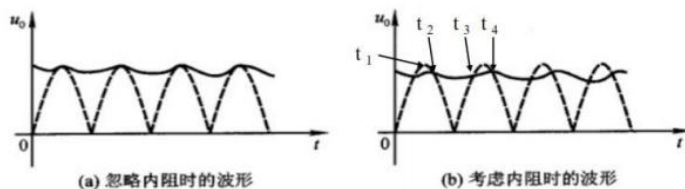


图 6.2.1-5 全波整流电容滤波电路的输出波形

(注意桥式整流电路的简化图)

由电容两端的电压不能突变的特点，达到输出波形趋于平滑的目的。经滤波后的输出波形如图 6.2.1-5 所示。

## 2) $\pi$ 型 RC 滤波

前述电容滤波的输出波形脉动系统仍较大，尤其是负载电阻  $R_L$  较小时。除非将电容容量增加（实际应用时难于实现）。在这种情况下，要想减少脉动可利用多级滤波方法，此时再加一级 RC 低通滤波电路，如图 6.2.1-6 所示，这种电路也称  $\pi$  型 RC 滤波电路。 $\pi$  型 RC 滤波是在电容滤波之后又加了一级 RC 滤波，使得输出电压更平滑（但输出电压平均值要减少）。纹波系数是指负载上交流电压的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。除了与整流滤波电路品质有关之外，与外电路负载关系也很大。

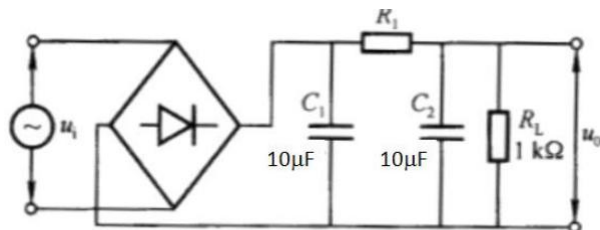


图 6.2.1-6  $\pi$  型 RC 滤波电路

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

## 2. 直流电源特性

### (1) 纹波系数

直流稳压电源一般是由交流电源经过整流滤波稳压等环节而形成的，这就不可避免地在直流稳定量中多少带有一些交流成分，这种叠加在直流稳定量上的交流分量就称之为纹波。一般可以用交流成分的有效值来表示纹波绝对强度的大小。纹波系数是指负载上交流电压的有效值与直流电压之比，是表征直流电源品质

# 实 验 报 告

评分：

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

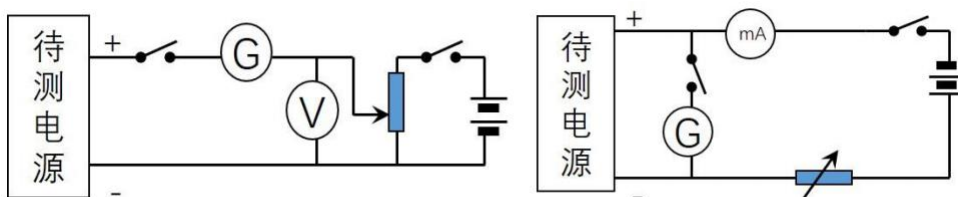
的一个重要参数。除了与整流滤波电路品质有关之外，与外电路负载关系也很大。

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

## (2) 电源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：



等效电路法测量开路电压和短路电流电路图

## 四、实验仪器

### 1. 整流滤波

信号发生器，示波器，数字电压表（直流电压档、交流电压档），电阻箱，可变电容箱，面包板，整流二极管，电容，电阻，导线若干。

### 2. 直流电源特性

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

## 五、实验内容

### 1. 整流滤波

#### (1) 整流实验

采用如图 6.2.1-7 所示电路。

用示波器观测信号源功率输出端输出纯正弦函数波形（无直流偏置），并把此正弦波峰值固定在 10 V，频率为 400Hz，在面包板上把元件分别连成半波、全波整流电路，把信号源接入到电路的输入端；用示波器分别观察初始信号、半波、全波整流的输出端信号  $u_o$ ，分别画出  $u_o$  的波形（示意图）；

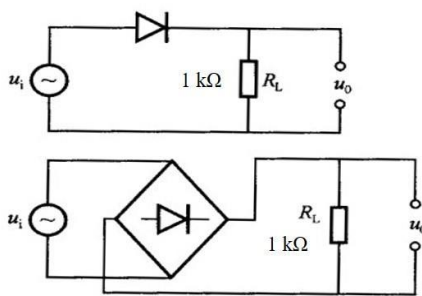


图 6.2.1-7 半波和全波整流电路

#### (2) 滤波实验

在全波整流电路中，输出端（按图 6.2.1—4 接线）接入电容（1  $\mu$ F）进行滤波，用示波器观察并画出输出端波形，同时用万

用表测量负载上的直流和交流电压，计算纹波系数；按图 6.2.1-6 连接  $\pi$  型 RC 电路进行滤波，用示波器观察并画出输出端波形，同时用万用表测量负载上的直流和交流电压，计算纹波系数。记录拍照面包板上的  $\pi$  型整流滤波电路，下次实验还需要再次连接进行直流电源特性测试。

#### (3) 电容对滤波效果的影响（提升内容）

# 实 验 报 告

评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021年5月12日

①电容对滤波效果的影响：更换电容为  $10\mu\text{F}$ ，重复上述（2）的内容，观察并描述波形差异，测量纹波系数进行比较，并进行分析解释。

## 2. 直流电源特性

（1）不同负载下纹波系数的测量（基础内容）

1) 测量负载功率曲线：信号源选  $500\text{Hz}$  频率， $V_{p-p}=10\text{V}$ ，正弦交流信号；电容选  $1\mu\text{F}$ ，在面包板上连接  $\pi$  型全波整流滤波电路，负载  $R_L$  连接电阻箱。在  $20\sim 2000\Omega$  范围内测量该电源的负载功率曲线。根据测量结果，输出功率最大时，负载有多大？（直流电压档测  $10\sim 12$  个点）

2) 测量纹波系数曲线：同上述电路，负载电阻在  $20\sim 2000\Omega$  范围内变化，测量输出端的直流、交流电压（分别用万用表的直流和交流电压档测量），并计算不同负载时该电源的纹波系数  $K_u$ 。绘制  $K_u$  随负载  $R_L$  的变化曲线。

3) 电容对纹波系数的影响：改用单个  $10\mu\text{F}$  电容，连接全波整流滤波电路，重复上述内容，根据结果分析优劣。

（2）非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定（提升内容）

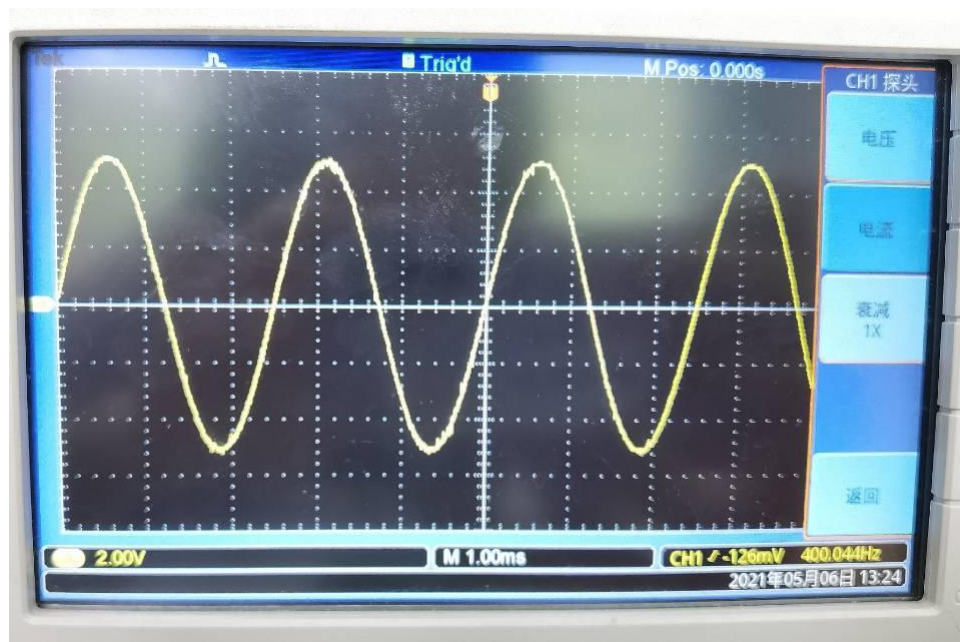
测量待测电源  $E_x$  的开路电压和短路电流，并计算  $E_x$  内阻。

## 六、实验记录与数据处理

### 1. 整流、滤波电路

（1）整流实验

#### ①初始信号



#### ②半波整流

##### 1) 输出端信号



# 实验报告

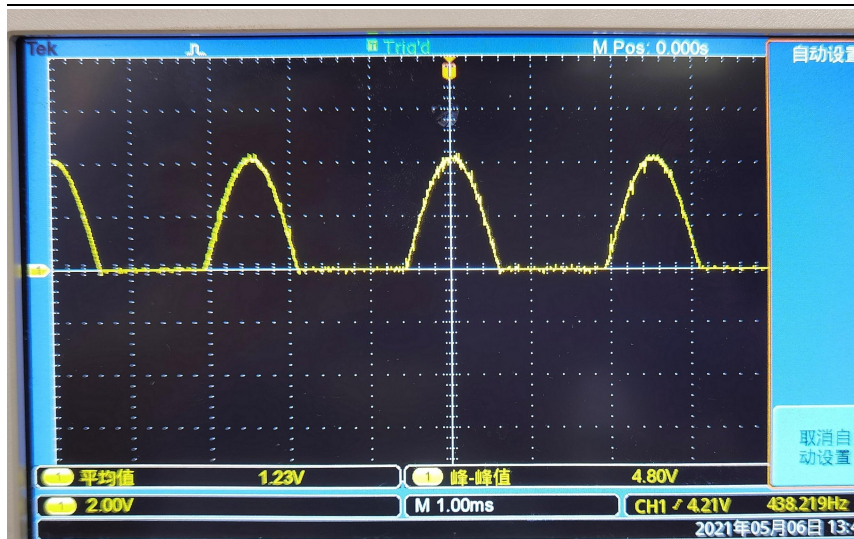
评分:

管理系 20 级

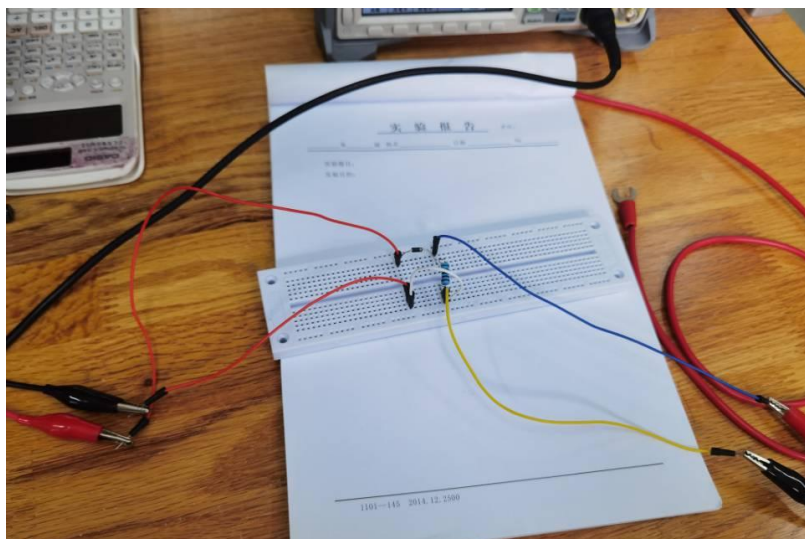
学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

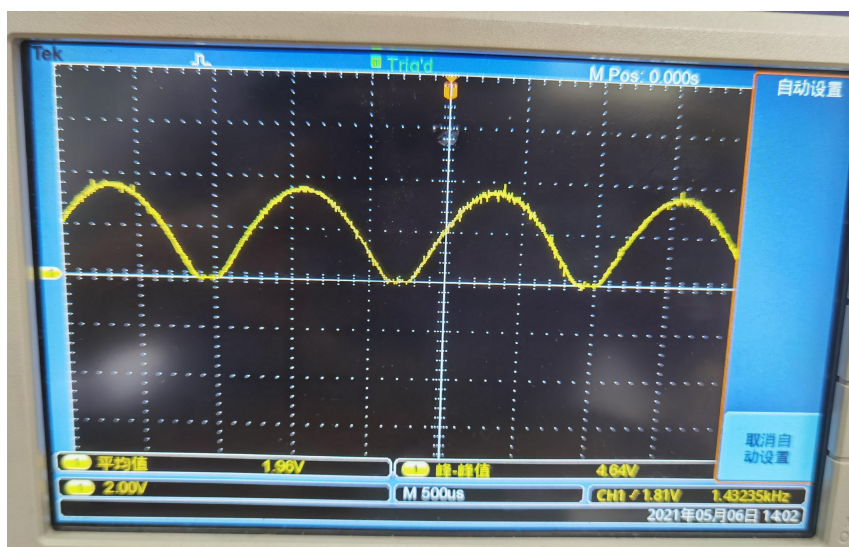


2) 电路



③全波整流

1) 输出端信号



# 实 验 报 告

评分:

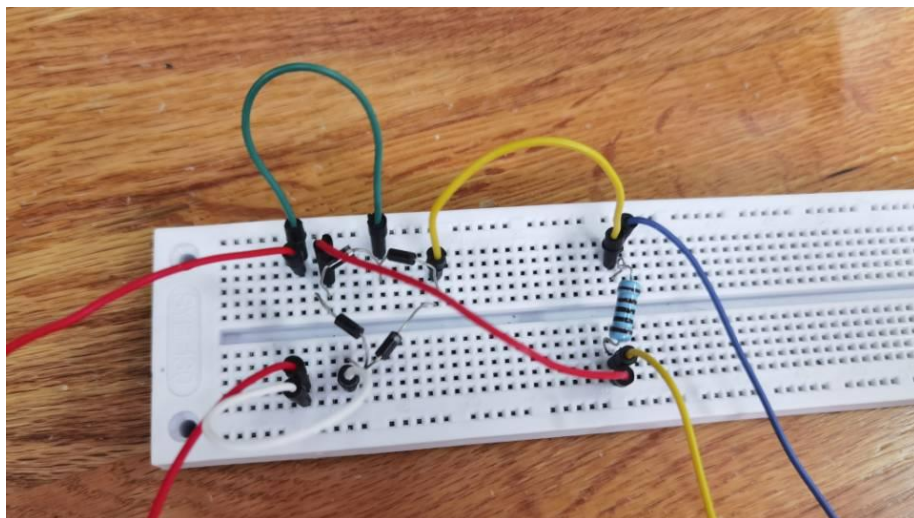
管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

## 2) 电路

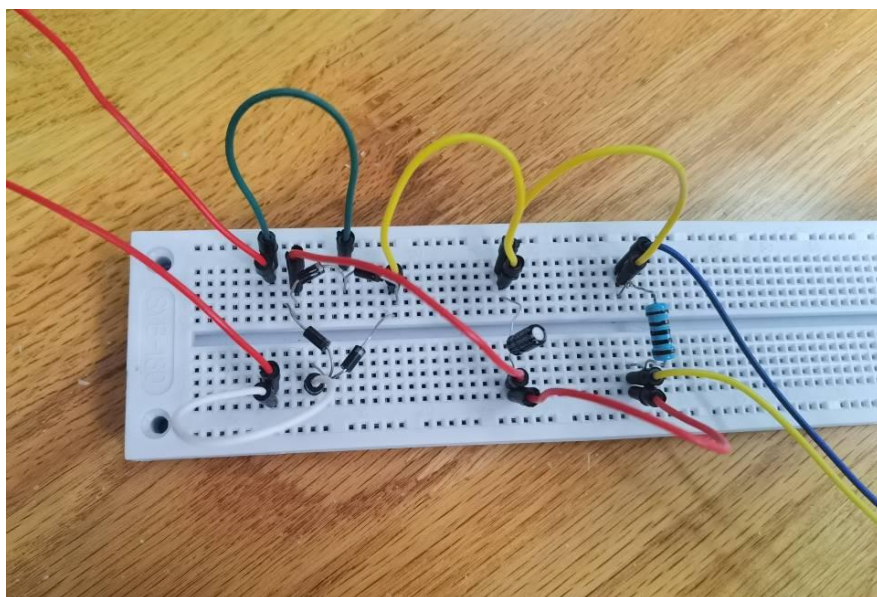


### (2) 滤波实验

#### ① 电容滤波

##### 1) 输出端波形

## 2) 电路



## 3) 直流和交流电压测量记录

交流电压/V	0.5650
直流电压/V	2.565

## 4) 计算纹波系数

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



# 实验报告

评分:

管理系 20 级

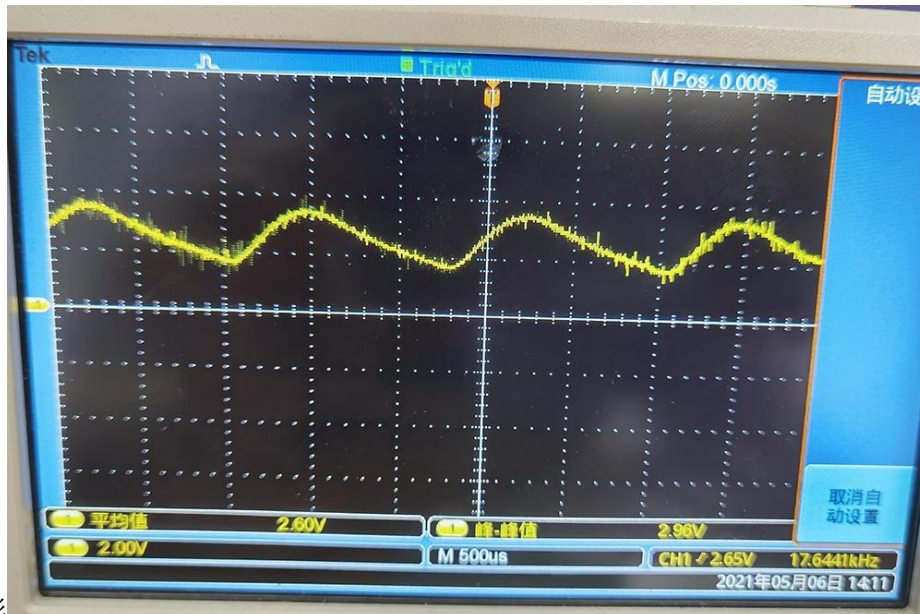
学号 PB20151804

姓名 袁雨

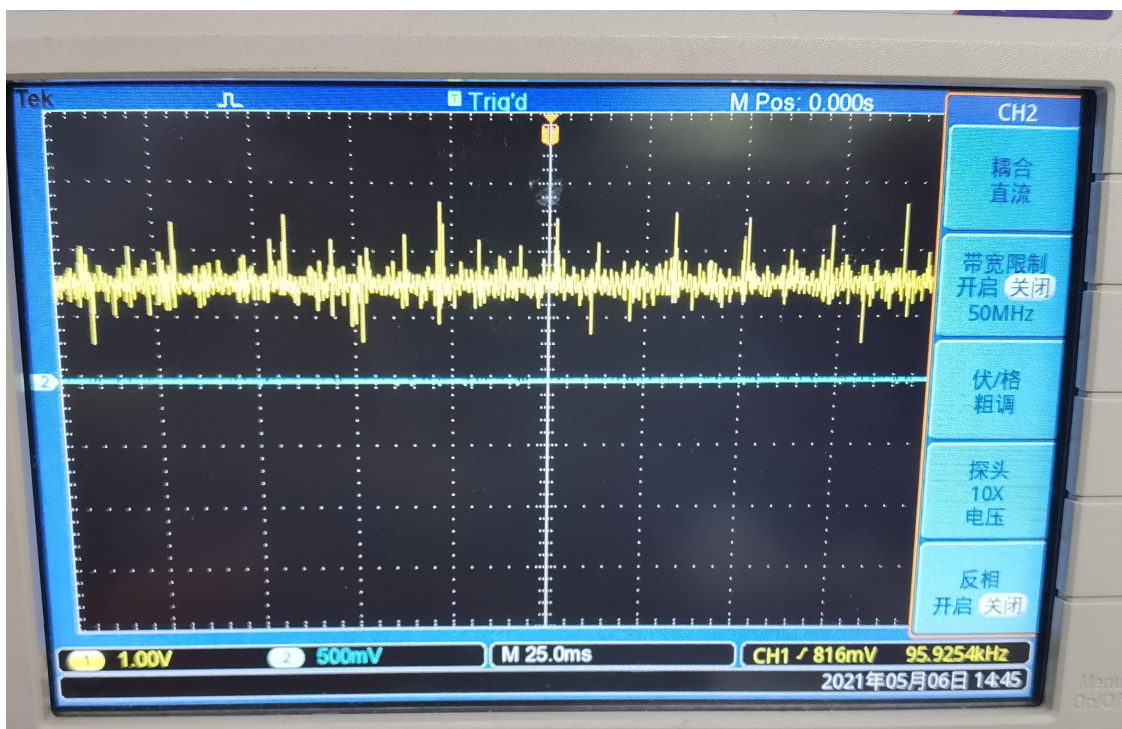
日期 2021年5月12日

$$= \frac{0.5650}{2.565} \times 100\% = 22.03\%$$

## ②π型 RC 滤波



1) 输出端波形



2) 电路

# 实 验 报 告

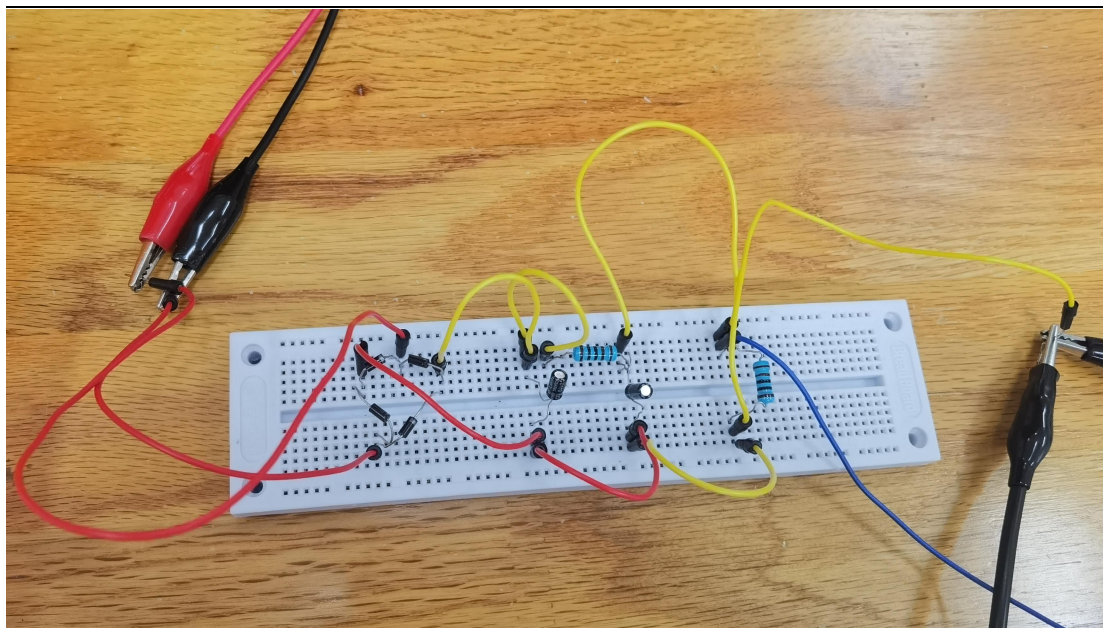
评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日



## 3) 直流和交流电压测量记录

交流电压/V	0.0618
直流电压/V	1.480

## 4) 计算纹波系数

$$\text{纹波系数 } K_u = \frac{\text{交流电压有效值}}{\text{直流电压}} \times 100\%$$
$$= \frac{0.0618}{1.480} \times 100\% = 4.176\%$$

## 2. 不同负载下纹波系数的测量

### 1) 测量负载功率曲线

#### ①测量记录并计算输出功率 P

实验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
负载电阻 RL/Ω	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
输出端直 流电压/V	0.0520	0.456	0.805	1.084	1.306	1.498	1.659	1.795	1.919	2.023	2.120
输出功率 $P = \frac{U^2}{R} / \text{W}$	0.0001 352	0.0010 40	0.0016 20	0.0019 58	0.0021 32	0.0022 44	0.0022 94	0.0023 01	0.0023 02	0.0022 74	0.0022 47

#### ②作出负载功率曲线



# 实 验 报 告

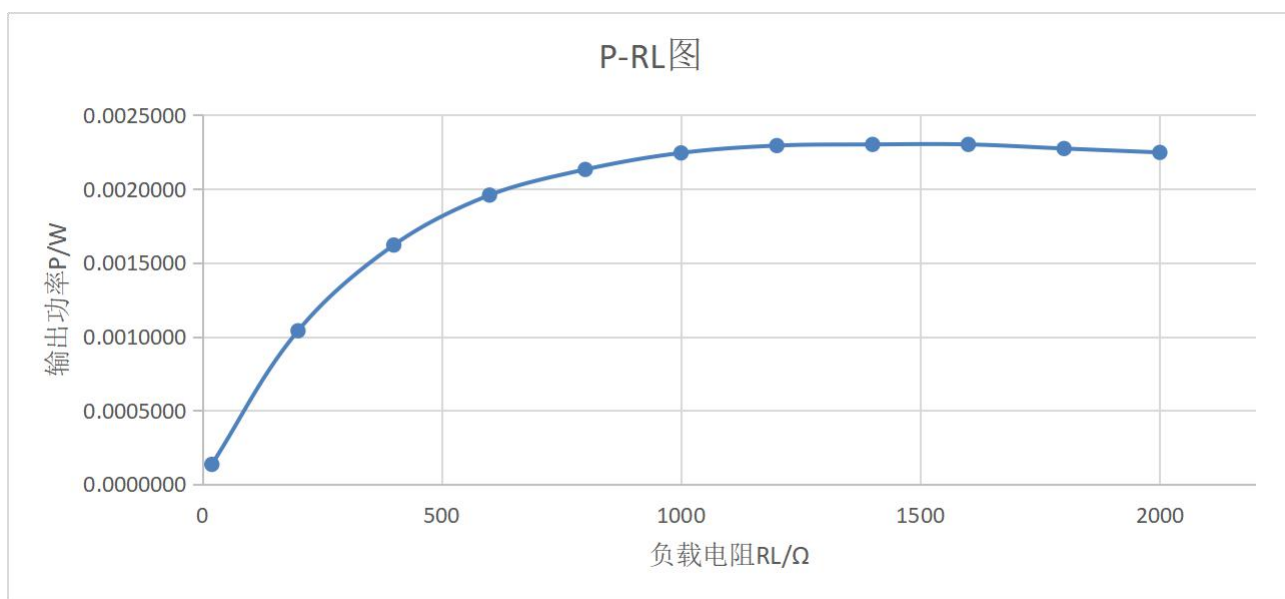
评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日



由图可知，输出功率最大时，负载在  $1400\Omega \sim 1600\Omega$  之间。

## 2) 测量纹波系数曲线

### ①测量记录并计算纹波系数 $K_u$

实验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
负载电阻 $R_L/\Omega$	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
输出端直 流 电 压 $\bar{U}/V$	0.0520	0.456	0.805	1.084	1.306	1.498	1.659	1.795	1.919	2.023	2.120
输出端交 流 电 压 $\tilde{U}/V$	0.0086	0.0454	0.0491	0.0472	0.0439	0.0417	0.0393	0.0368	0.0348	0.0331	0.0315
纹波系数 $K_u$ $= \frac{\tilde{U}}{\bar{U}} \times 100\%$	9.956 %	6.099 %	4.354 %	3.361 %	2.784 %	2.369 %	2.050 %	1.813 %	1.636 %	1.486 %	9.956 %

### ② $K_u$ 随负载 $R_L$ 的变化曲线

# 实 验 报 告

评分:

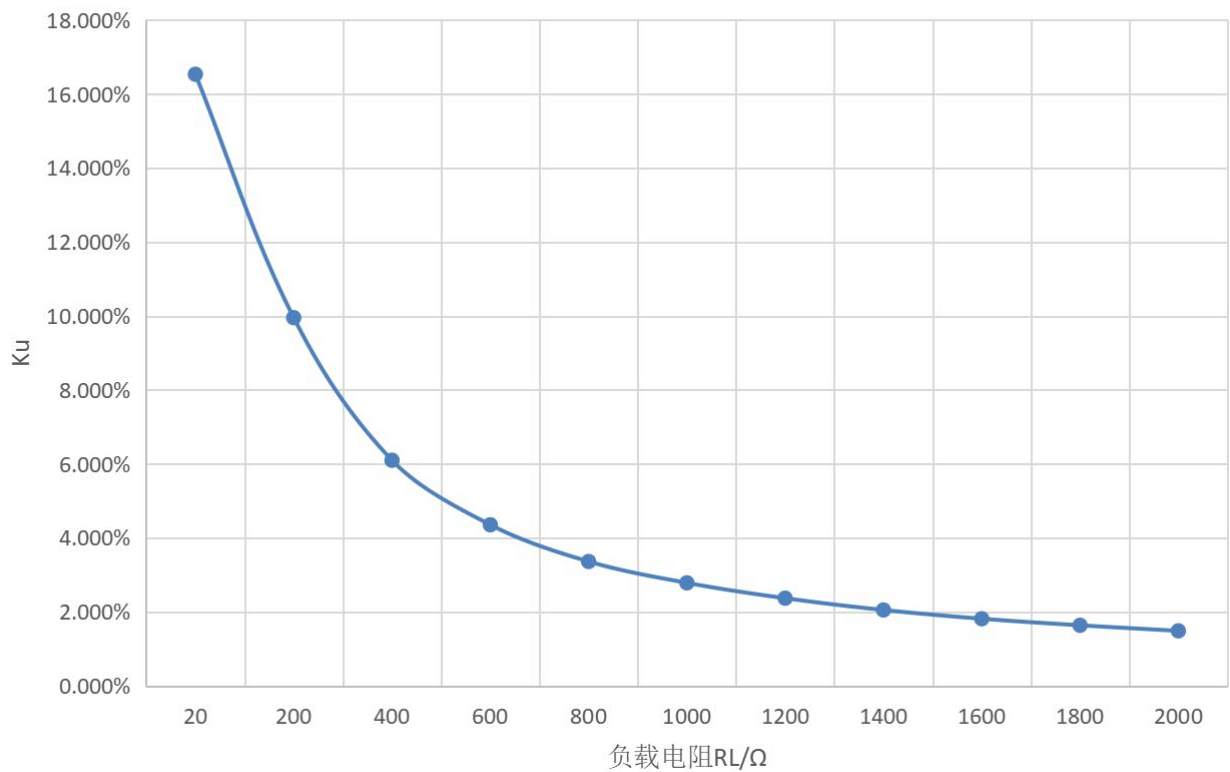
管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

Ku-RL图



## 3) 电容对纹波系数的影响

### ①测量负载功率曲线

#### 1° 测量记录并计算输出功率 P

实验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
负载电阻 $R_L/\Omega$	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
输出端直 流 电 压 $\bar{U}/V$	0.473	1.913	2.386	2.631	2.785	2.897	2.981	3.046	3.100	3.142	3.179
输出功率 $P = \frac{U^2}{R}/W$	0.011 19	0.018 30	0.014 23	0.011 54	0.009 695	0.008 393	0.007 405	0.006 627	0.006 006	0.005 485	0.005 053

#### 2° 作出负载功率曲线

# 实 验 报 告

评分:

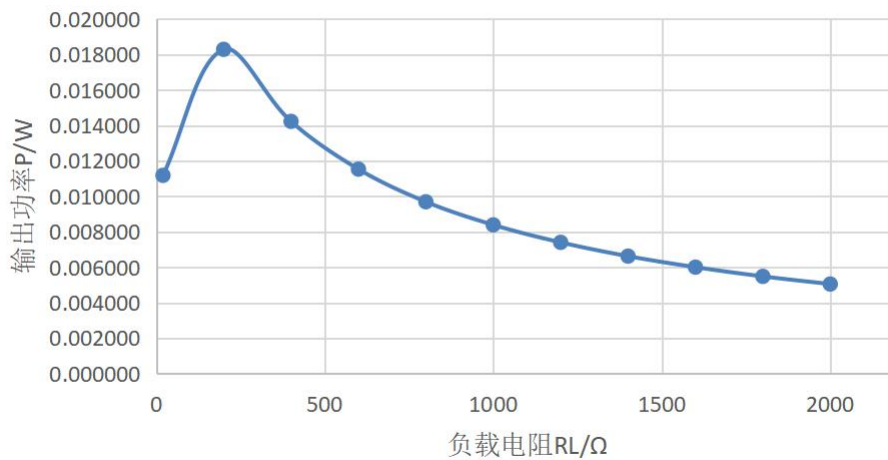
管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

P-RL图



由图可知，输出功率最大时，负载在  $100\Omega \sim 300\Omega$  之间。

## ②测量纹波系数曲线

1° 测量记录并计算纹波系数  $K_u$

实验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
负载电阻 $R_L/\Omega$	20	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
输出端直 流 电 压 $\bar{U}/V$	0.473	1.913	2.386	2.631	2.785	2.897	2.981	3.046	3.100	3.142	3.179
输出端交 流 电 压 $\tilde{U}/V$	0.1998	0.1585	0.1103	0.0856	0.0703	0.0600	0.0524	0.0466	0.0419	0.0381	0.0350
纹波系数 $K_u$ $= \frac{\tilde{U}}{\bar{U}} \times 100\%$	42.24%	8.285%	4.623%	3.254%	2.524%	2.071%	1.758%	1.530%	1.352%	1.213%	1.101%

2°  $K_u$  随负载  $R_L$  的变化曲线



# 实验报告

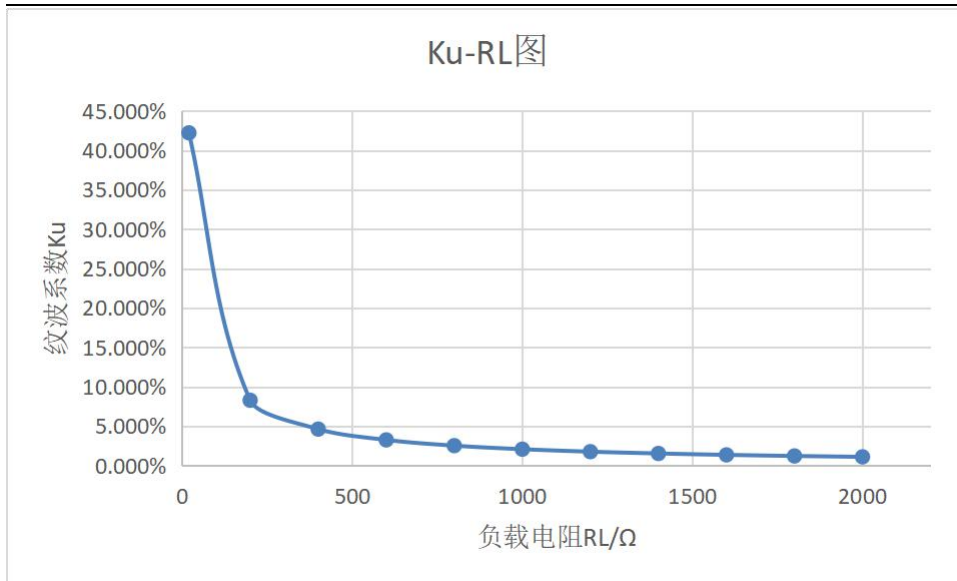
评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日



## 3. 非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定（提升内容）

### (1) 待测电源 $E_x$ 的开路电压



读数为 1.6185V

### (2) 待测电源 $E_x$ 的短路电流

# 实 验 报 告

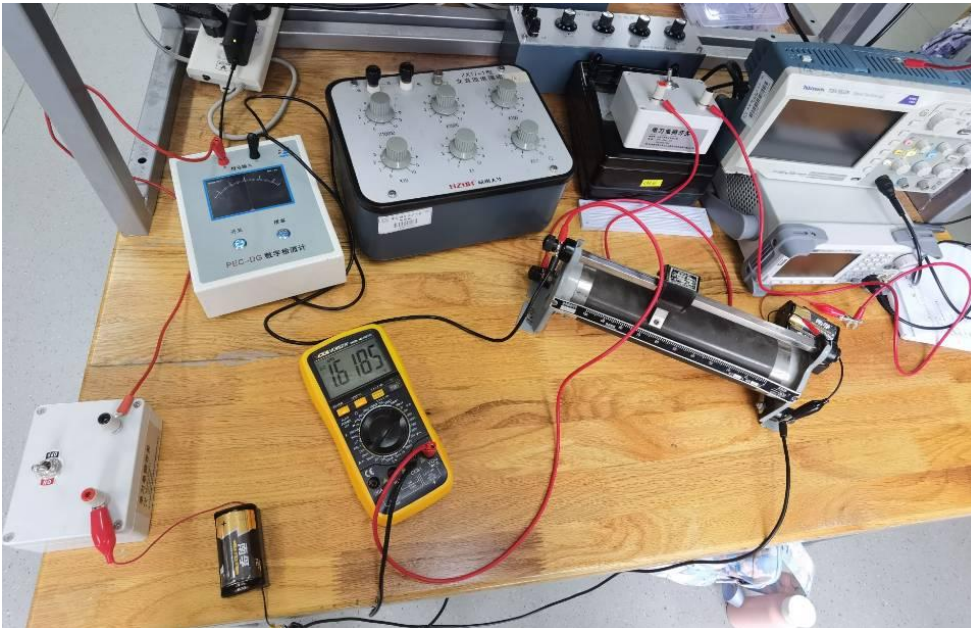
评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日



读数为 55.3mA

(3) 计算  $E_x$  内阻

$$r = \frac{U}{I} = \frac{1.6185}{0.553} \Omega = 29.3 \Omega$$

## 七、分析讨论

## 八、思考题

1. 整流、滤波的主要目的是什么？

答：整流：把交流电转换成单方向大脉动直流电；滤波：把大脉动支流电处理成平滑的脉动小的直流电。

在现代工农业生产和日常生活中，广泛地使用着交流电，而在一些非直流电不可的场合，如工业上的电解和电镀等，可以利用整流、滤波设备将交流电转化为直流电。

2. 滤波电路中电容是否越大越好？请根据实验过程简述理由。

答：不是。滤波电容并联在支流脉动电源两端，以达到降低交流脉动电压（纹波系数）的目的，继而提升直流输出平滑度的应用电容。对滤波电容的选取有经验公式， $RC \geq (3 \sim 5) T/2$ ，根据这个经验公式来看，理论上滤波电容的选取越大越好，但是实验过程中发现这是不科学的。

电容越大，好处是输出电压的纹波减小（越平滑），但同时产生的坏处是：①随着电容的增大，其改善效果越不明显；②电容越大，充电电流越大，很可能损坏相关元器件。当电路系统刚上电时，滤波电容两端的电压为零，此时输入脉动电压会逐渐升高，并同时给滤波电容进行充电。如果滤波电容的容量过大，则电容充电的速度会比较慢（电压上升速度慢），当输入脉动电压达到峰值时，此时的输入峰值电压与滤波电容两端的电压差最高，并且两者之间没有任何阻抗，高压低阻状态就会引起瞬间大电流，滤波电容的容量越大，则瞬间的充电（纹波）电流也越大，其很可能超出滤波电容的最大纹波电流，从而损坏滤波电容，如果由此引起滤波电容短路，则其他相关元器件也可能在瞬间损坏。③电容过大将导致纹波电压（滤波电路、稳压电路输出直流电压含有的波动电压）过大，从而使稳压电路输出纹波电压增加，甚至无法稳压。因为纹波电压的产生是通过整流输出的单向脉动电压对滤波电容的充放电过程产生的；④电容越大成本越高。

综上所述，整流滤波电路中的滤波电容选取要根据输出直流电压、负载  $R$  大小、纹波电压的要求而进行综合选取。

# 实 验 报 告

评分:

管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 5 月 12 日

3. 简述单大电容和小电容 $\pi$ 型滤波的优劣。

答:

(1) 单大电容:

①优: 1° 输出的直流电压更大, 损耗小; 2° 输出功率最大时的负载更小, 更适合小负载电路。

②劣: 1° 纹波系数更大, 滤波效果不好; 2° 不适合大负载电路。

(2) 小电容 $\pi$ 型:

①优 1° 纹波系数更小, 滤波效果更好; 2° 输出功率最大时的负载更大, 更适合大负载电路。

②劣: 1° 输出的直流电压小, 损耗大; 2° 不适合小负载电路