

整流滤波

实验报告

卜一楠 PB22071444

PHYS1008A 教室:1402 座位号:3

2023 年 6 月 12 日

摘要

本实验的目的是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。

1. 利用半波整流，全波桥式整流电路整流。
2. 利用单电容滤波， π 型 RC 滤波。
3. 探究电容，频率对滤波效果的影响。

背景介绍

1. 基本背景：在现代工农业生产和日常生活中，广泛地使用着交流电。主要原因是与直流电相比，交流电在生产、输送和使用方面具有明显的优点和重大的经济意义。
2. 作用：远距离输电时，采用较高的电压可以减少线路上的损失。对于用户来说，采用较低的电压既安全又可降低电气设备的绝缘要求。这种电压的升高和降低，在交流供电系统中可以很方便而又经济地由变压器来实现。此外，异步电动机比起直流电动机来，具有构造简单、价格便宜，运行可靠等优点。

目录

1 实验目的	3
2 实验原理	3
2.1 整流原理	3
2.1.1 半波整流	3
2.1.2 全波桥式整流	3
2.2 滤波电路	4
3 实验器材	4
4 实验步骤	4
5 数据测量与分析	5
5.1 整流电路	5
5.2 滤波电路	6
5.3 电容对滤波效果的影响	6
6 思考题	7
7 致谢	7
8 附录	7

1 实验目的

- (1) 了解交流信号的几个参数;
- (2) 学习整流滤波电路的基本工作原理;

2 实验原理

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。

2.1 整流原理

主要利用二极管的单向导电性可实现整流。

本实验使用整流滤波电路, 要利用二极管和电容这两种电路元件的性质, 将交流电源改为直流电源。假设输入的交流电源为 $u_i(t) = U_p \sin \omega t$ 。首先通过整流电路将交流电转化为单向大脉冲直流电。有以下两种整流方式:

2.1.1 半波整流

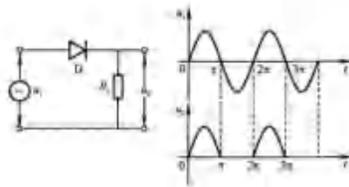


图 1: 半波整流电路及其波形图

整流后输出电压为:

$$u(t) = U_p \sin \omega t, 0 \leq \omega t < \pi$$

$$u(t) = 0, \pi \leq \omega t < 2\pi$$

对应的直流电压均值为: $\bar{u}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{\pi} U_p \approx 0.318 U_p$

2.1.2 全波桥式整流

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期信号都被利用, 则应采用全波整流。整流后的输出电压为:

$$\begin{cases} u(t) = U_p \sin \omega t, 0 \leq \omega t < \pi \\ u(t) = -U_p \sin \omega t, \pi \leq \omega t < 2\pi \end{cases}$$

直流平均值为:

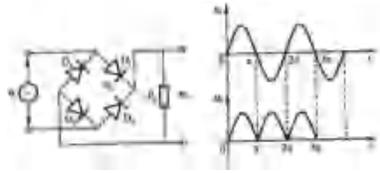


图 2: 桥式整流电路及其波形图

$$\bar{u}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_t dt = \frac{2}{\pi} U_p \approx 0.673 U_p$$

由此可见，忽略整流内阻时，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。

2.2 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。

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。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。

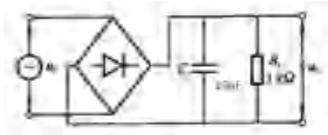


图 3: 全波整流电容滤波器

前述电容滤波的输出波形脉动系统仍较大，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，输出电压更为平滑，但平均值也会减小。此处引入纹波系数用于表征直流电源品质。

$$K_u = \frac{U_{AC}}{U_{DC}} \times 100\%$$

3 实验器材

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。

4 实验步骤

1. 打开信号发生器与示波器，调节频率 f 与波峰峰值至 400Hz 和 10V；调节示波器至合适电压和频率。
2. 在面包板上组装半波整流电路。

3. 输出端处连接示波器的两接口，记录示波器波形。
4. 在面包板上组装全波整流电路，重复 3 的内容。
5. 在面包板上用 $1\mu F$ 的电容组装单电容滤波电路。
6. 输出端处连接万用表的两接口，记录直流电压和交流电压。重复 3 的内容。
7. 在 $10Hz \sim 2000Hz$ 范围内调节信号发射器的频率，重复 6 的内容。
8. 在 $400Hz$ 下换用 $10\mu F$ 的电容组装单电容滤波电路，重复 6 的内容。
9. 在面包板上用 $1\mu F$ 的电容组装型 RC 滤波电路，重复 6、7、8 的内容。
10. 固定频率 $400Hz$ 和峰-峰值 $10V$ 不变，通过可变电容箱调节电容大小 ($0.1 \sim 1\mu F$)，重复 6 的内容。
11. 结束实验，整理仪器。

5 数据测量与分析

5.1 整流电路

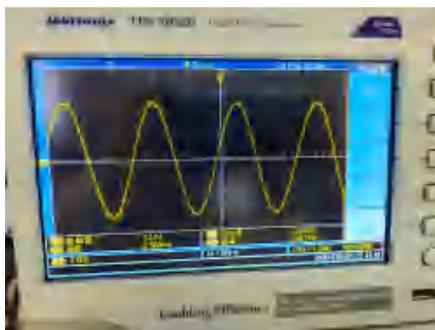


图 4: 初始信号

可以看到，初始信号为标准正弦波。

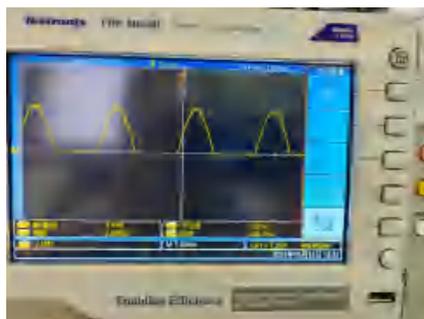


图 5: 半波整流图像

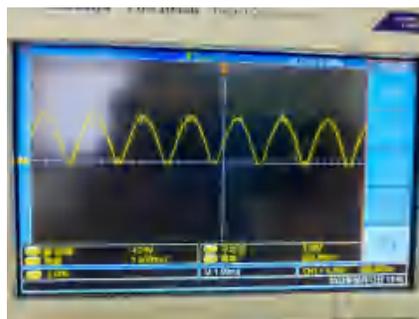


图 6: 全波整流图像

如示波器图所示，半波整流只利用了交流电半个周期的正弦信号，而全波桥式整流能同时利用正负半周期信号，更可以充分利用交流电信号。

两个电路的输出电压峰值都小于信号发射器的波峰，这是由于电路中导线与二极管存在导通电压，有一定分压。

5.2 滤波电路

分别测量记录接入 $1\mu F$ 电容滤波的全波整流电路和 π 型 RC 滤波电路负载上的直流和交流电压，计算纹波系数。纹波系数与波形图如下：

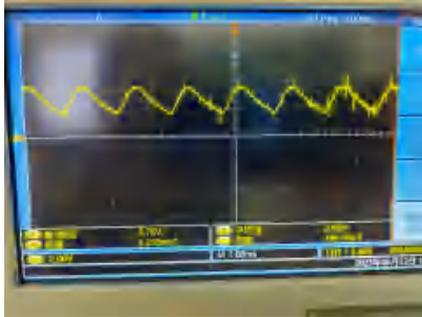


图 7: 单电容滤波图像

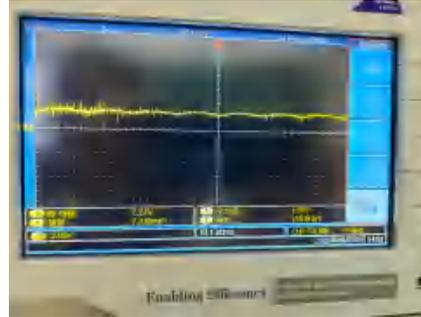


图 8: π 型 RC 滤波图像

从波形图可以看出，两种电路都使输出波形趋于平滑，减小了脉动，实现了滤波的效果。其中单电容滤波的输出波形脉动系统仍然较大，又加了一级 RC 滤波组成 π 型 RC 滤波电路后，使得输出电压更平滑。从纹波系数数据和波形图都能看出， π 型 RC 滤波的纹波系数小，且脉动更小，

	DC(V)	AC(V)	K_u
全波整流电路	2.56476	0.57912	22.58%
π 型 RC 滤波	1.48017	0.064576	4.36%

即滤波效果更好。但是电压损耗较大。全波整流电路纹波系数大，但是电压损耗比 π 型 RC 滤波小。

5.3 电容对滤波效果的影响

将上述实验中电容由 $1\mu F$ 换为 $10\mu F$ ，重复上述实验，则示波器上显示图形如下：

电容增大为 $10\mu F$ 后，可以观察到，电压相较上一组实验减小，同时电压的脉动明显减小，输出波形趋于平滑。因此，增大电容可以使滤波效果更好，电压的损耗更小。

	DC(V)	AC(V)	K_u
全波整流电路	2.92291	0.078032	2.67%
π 型 RC 滤波	1.59292	0.00094	0.06%

由此可以看出，在增大电容以后，电源纹波系数下降，且直流电压都有提升。

综合两次实验：电容增大，滤波的效果提升，损耗的电压减小。

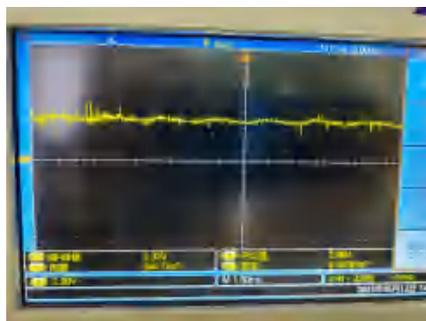


图 9: 单电容滤波图像

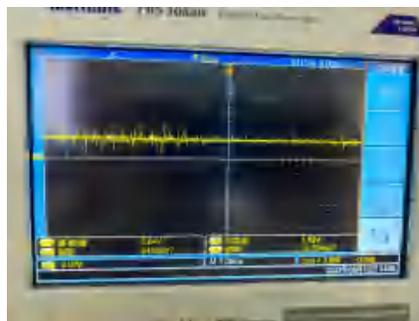


图 10: π 型 RC 滤波图像

6 思考题

1. 整流、滤波的主要目的是什么？

- (1) 整流的目的是：利用二极管的单向导电性将正负变化的交流电压变为单向脉动电压，从而在某些只需要或更适合使用直流电的场景下加以应用。
- (2) 利用电容两端的电压不能突变的特点，尽可能减小脉动的直流电压中的交流成分，保留其直流成分，将大脉动直流电处理成平滑的脉动小的直流电，使输出电压纹波系数降低，波形变得比较平滑，方便使用。

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。

- (1) 实验理论分析：仅从实验理论来看，滤波电路中电容越大，示波器上电压图像越稳定，直流电压的损耗越小，交流电压和纹波系数越小，滤波效果越好，直流电的质量越高。因此电容在理论上越大越好。
- (2) 实际应用：
 - 1° 当滤波电容达到一定门限值后，其改善效果几乎没有任何提高，此后加大电容，体积变大，增加成本的同时还影响空气流动和散热，反而不利于滤波。
 - 2° 此外，若滤波电容太大的话，电源开机和关断时间都会拉长，这就有可能导致其他数字器件比如 MCU 上电复位失败。
 - 3° 电容的容值越大，谐振频率越低，电容能有效补偿电流的频率范围也越小，于是电容提供高频电流能力便开始下降，反而不利于滤波。

7 致谢

感谢中国科学技术大学物理实验教学中心和黄双安老师的指导！

8 附录

原始实验记录