

整流滤波

唐延宇 PB22030853

2023 年 6 月 27 日

1 实验目的

由于发电机及电磁感应定律等原理所限, 在工业上, 交流电相比直流电更易获得, 且在传输时具有损耗较小、电压易于改变等特性, 因此往往被作为电能的载体, 输运在电网中. 然而, 在一些场景中, 直流电也发挥着不可或缺的作用. 故而, 我们往往需要设计电路将交流电转化为直流电, 这一过程便被称为整流滤波. 本实验的目的即对交流电源产生的正弦波进行整流、滤波, 进而制作一台输出恒压直流电的电源.

2 实验原理

本实验主要需要使用如下四类电路: 半波整流电路、全波桥式整流电路、单电容滤波电路、 π 型 RC 滤波电路四种. 其中“整流”电路的主要作用恰如其名——交流变直流, 而“滤波”电路的主要作用在于去除信号中的波动性. 下面对其逐一介绍:

2.1 半波整流电路

直接在电路中串联接入一二极管, 利用二极管的单向导通特性, 便可达到将反向电流滤去的目标, 其电路及波形图如第1页的图1所示.

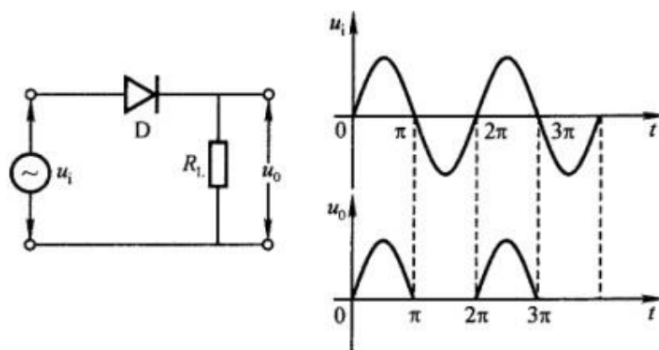


图 1: 半波整流电路图及波形图

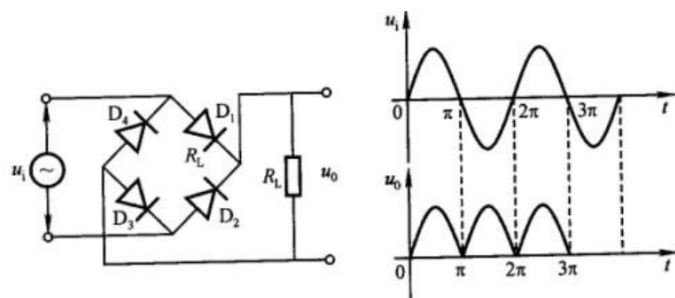


图 2: 全波桥式整流电路图及波形图

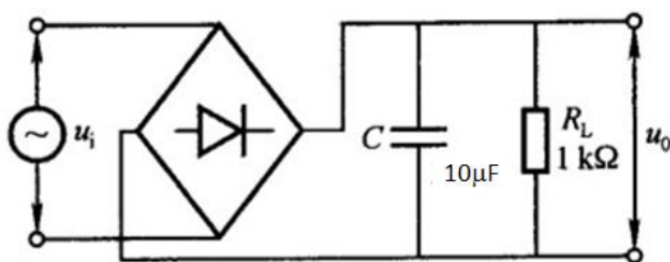


图 3: 单电容滤波电路图

2.2 全波桥式整流电路

利用图2中的 D_1, D_2, D_3, D_4 四个二极管构成的桥式电路, 使得当电流正向流入时, 通过二极管 D_1, D_2 到达负载端, 而电流反向时, 先利用 D_3, D_4 使其反向为正, 再通过 D_1, D_2 流回负载, 从而达到了利用交流电一个周期内全部信号的目标。

2.3 单电容滤波电路

在电路中与负载并连接入一电容, 便可达到滤波的效果. 由于电容器两端电压降满足方程 $U = \frac{Q}{C}$, 其中 Q 为极板两端所带电荷量, 而电荷量不可突变也就导致了电压变化具有延迟效应, 从而减少了输出信号的波动性. 其电路图如图3所示。

2.4 π 型 RC 滤波电路

为使滤波效果更好, 可在上述单电容滤波电容前加装一级 RC 滤波电路. 这样一来, 由于电容器两端电压的不可突变性以及 RC 系统本身对于电路的阻抗效果, 输出端电压更加趋于平滑. 在实际实验中, 几乎为恒压直流电源波形. 其电路图如图4所示。

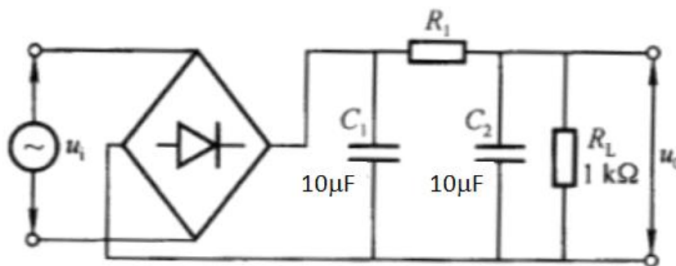


图 4: π 型 RC 滤波电路图

3 实验结果与数据处理

3.1 波形图

实验中测得的几种输出波形如第6页的图5所示:

3.2 纹波系数

下面对所得单电容滤波及 π 型滤波后电源的纹波系数进行计算: 纹波系数公式为:

$$K_p = \frac{\text{ACV}}{\text{DCV}} \times 100\%$$

其中 ACV 为交流电压有效值, DCV 为直流电压, 二者均由万用表测得. 在单电容电路中, 纹波系数可如下计算:

$$K_{p,1\mu\text{F}} = \frac{0.57}{2.54} \times 100\% = 22.4\%$$

$$K_{p,10\mu\text{F}} = \frac{73.10 \times 10^{-3}}{2.82} \times 100\% = 2.59\%$$

在 π 型电路中, 纹波系数可如下计算:

$$K_{p,1\mu\text{F}} = \frac{63.68 \times 10^{-3}}{1.46} \times 100\% = 4.36\%$$

$$K_{p,10\mu\text{F}} = \frac{0.95 \times 10^{-3}}{1.55} \times 100\% = 0.06\%$$

3.3 影响滤波效果的因素

本实验探究了信号源频率及滤波电容对滤波效果的影响, 第7页的图6, 7为利用 Origin 作出的纹波系数与信号源频率间的关系. 第8页的图8为纹波系数与电容间的关系.

4 分析与讨论

4.1 现象分析

通过本实验所测数据可知, 滤波后的纹波系数大体随电容增加而减小, 随信号源频率增加而减小; 且 π 型滤波电路纹波系数明显小于单电容滤波电路. 下面利用函数法对其进行一些定性分析与讨论: 假设原信号电流为 $i(t) = i_m \sin(\omega t + \phi)$, 据似稳条件下电容器两端电压关系, 可得:

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} & u &= \frac{q}{C} & Z_C &= \frac{u}{i} \\ & & & \Rightarrow Z_C &= \frac{1}{\omega C} \end{aligned}$$

其中 q 为电容所带电量, Z_C 为电容的阻抗. 由此可知电容器对于频率较小的交流电具有较大的阻扼作用, 而允许高频交流电通过. 对于直流电而言, 电容表现为断路.

在单电容滤波电路中, 电容器与负载并联. 由于电容阻抗较小, 导走了大部分高频交流电, 从而负载两端电压的波动性得到降低. 又可知电容的阻抗随 C 增大而减小, 因此, 采用更大的电容可以使得它对高频交流电的阻扼作用更小, 从而带来纹波系数的降低.

在 π 型滤波电路中, 负载与一电容并联, 该电容与一电阻串联后再与另一电阻并联. 由于电阻的阻抗与低频交流电的容抗处于同一量级, 电阻分压作用显著, 因此接入电阻后直流电压显著降低. 但同时由于增加了一个电容, 交流电被滤去的部分更多, 因此纹波系数相较单电容滤波电路仍大幅降低.

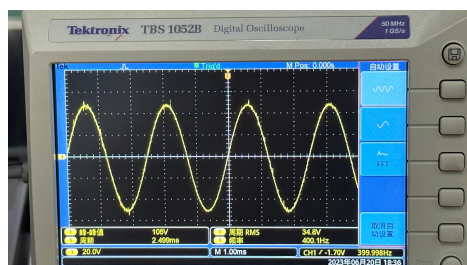
在探究信号源频率对滤波效果影响的实验中, 实验者在尝试过几种拟合模型后发现, $K_p = y_0 + Ae^{-f/t}$ 拟合效果较优, 这表明 K_p 的对数与 f 呈线性关系, 这表明随着频率的增加, 纹波系数先迅速下降, 后趋于稳定. 在实验者看来, 这是由于当信号源频率较低时, 电容的容抗与负载阻抗处于近乎同一量级, 因而对高频交流电没有产生较好的遏止效果; 而当频率增大之后, 容抗以反比例函数形式迅速下降, 这也就带来了负载端直流成分的迅速增加. 与其他实验相同, 在本实验中, π 型滤波电路相对单电容滤波电路具有更好的滤波效果, 但直流电压显著减小.

在探究电容大小对滤波效果影响的实验中, 随着电容的增加, 纹波系数单调地减小. 在数据处理时, 实验者发现 e 的一阶指数项同时具有较好的拟合效果. 即随着电容的增加, 纹波系数先减小, 后趋于稳定. 在实验者看来, 这是由于当容抗减小到一定程度后, 其进一步减小对高频交流电的分流作用趋于稳定.

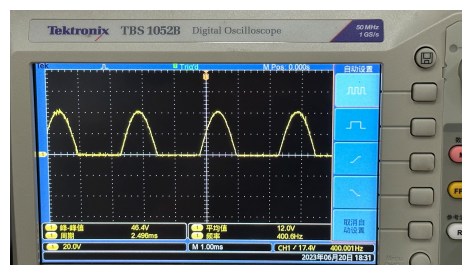
4.2 思考题

1. 整流的主要目的是交流变直流, 通过二极管将交流信号转化为单向的直流信号; 滤波的目的是滤去波动, 即将直流电变为恒压直流电.

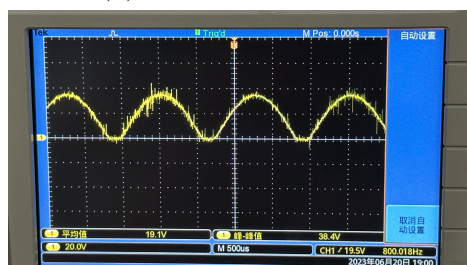
2. 随着电容增加, 纹波系数不断减小, 的确滤波效果不断增强. 但在实验过程中观察输出端电压可发现, 电容增大也会导致噪声明显增多, 且当电容增加到一定程度后, 对滤波效果提升不明显, 反而带来经济成本的增加, 因此电容并非越大越好.



(a) 输入正弦波波形图



(b) 半波整流波形图



(c) 全波桥式整流波形图

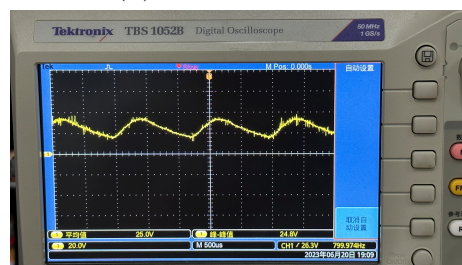
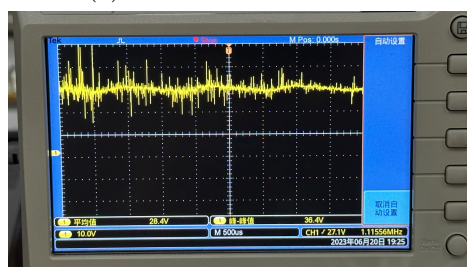
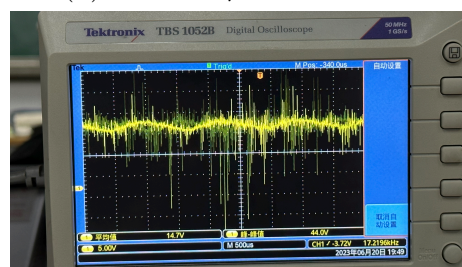
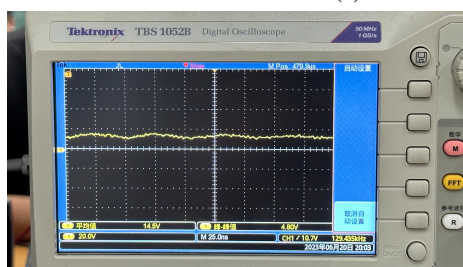
(d) 单电容 $1\mu\text{F}$ 滤波波形图(e) 单电容 $10\mu\text{F}$ 滤波波形图(f) π 型 $\text{RC}1\mu\text{F}$ 滤波波形图(g) π 型 $\text{RC}10\mu\text{F}$ 滤波波形图

图 5: 实验测得波形图

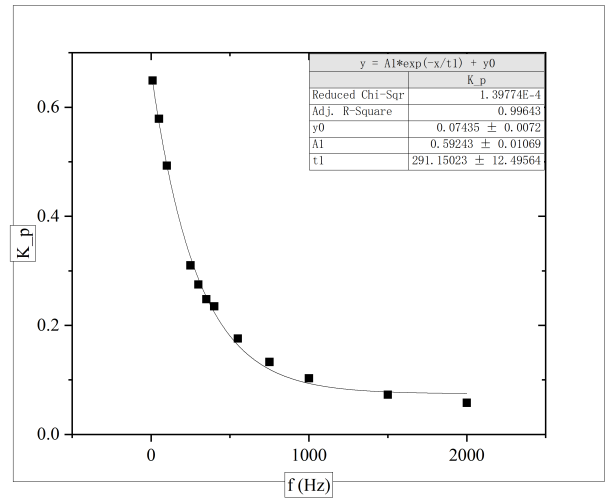


图 6: 纹波系数与信号源频率间关系图（单电容电路）

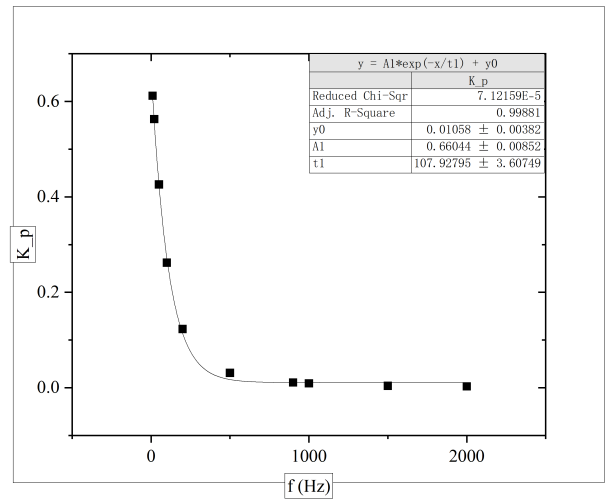


图 7: 纹波系数与信号源频率间关系图（ π 型 RC 滤波电路）

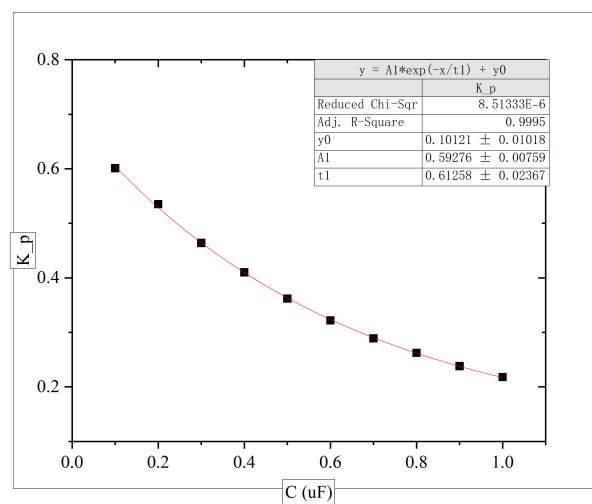


图 8: 电容与信号源频率间关系图