

实验报告

评分:

2020 级 11 系 3 班

姓名 黄瑞轩

日期 2021 年 5 月 30 日

No PB20111686

实验目的: 了解整流滤波电路的基本工作原理, 并测量两种电源的特性

实验器材: 示波器、电源、面包板、导线、电阻、电容、二极管、万用表、电池、毫安表、检流计、电阻箱

实验原理:

交流电: 大小、方向都随时间改变。常见的正弦交流电表达式为 $i(t) = I_P \sin(\omega t + \varphi_1)$ 、 $u(t) = U_P \sin(\omega t + \varphi_2)$, 三要素为振幅、频率和相位。有效值为 $i_{\text{有效}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$ 、 $u_{\text{有效}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$ 。

整流: 在现代工农业生产和日常生活中, 使用的是交流电。而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, 利用二极管的单向导电性可实现整流; 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。

本实验采用半波、全波整流方法来进行整流, 半波电路图如图 1 所示。当输入的交流电 $u_i(t) = U_P \sin \omega t$ 时, 经整流后的输出电压: $0 \leq \omega t \leq \pi$ 时 $u_o(t) = U_P \sin \omega t$, $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ 时为 0。直流平均值为 $\bar{u}_o = \int_0^T u_o(t) dt = \frac{1}{\pi} U_P$ 。

全波整流电路图如图 2 所示, 当输入的交流电 $u_i(t) = U_P \sin \omega t$ 时, 经整流后的输出电压 $u_o(t) = U_P |\sin \omega t|$, 直流平均值为 $\bar{u}_o = \int_0^T u_o(t) dt = \frac{2}{\pi} U_P$ 。

滤波:

(1) 单电容滤波

在交流电变化一个周期的过程中, 由于二极管的单向导通性, 使得电容器被充、放电。如此周而复始, 形成了周期性的电容器充电放电过程。由于电容器的电压不能突变, 故在这一小段时间内, 它可被看成一个反电动势。由电容两端的电压不能突变的特点, 可达到输出波形趋于平滑的目的。经滤波后的输出波形如图 3 所示。

(2) π 型 RC 滤波

前述电容滤波的输出波形脉动仍较大, 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 4 所示, 这种电路也称 π 型 RC 滤波电路, 这种方法使得输出电压更平滑 (但输出电压平均值要减少)。

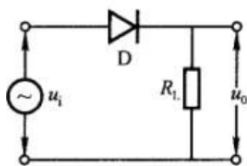


图 1 半波整流电路图

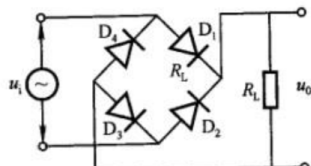


图 2 全波整流电路图

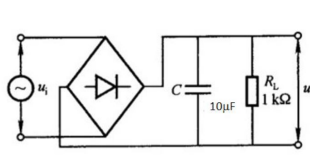


图 3 单电容滤波器电路图

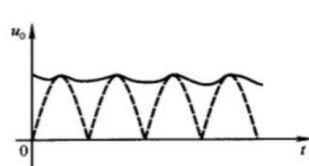


图 4 单电容滤波的输出波形

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, 直流稳定量中不可避免地带有交流成分, 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, $K_u = \frac{\text{交流电压有效值}}{\text{直流电压值}} \times 100\%$, 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。

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。因此采用等效电路或补偿法来进行测量, 电路图如图 5 所示。

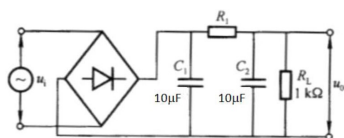


图 5 π 型 RC 滤波电路

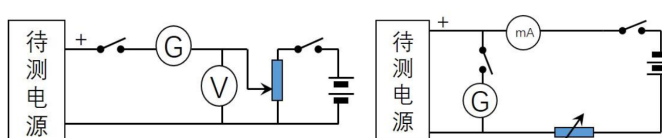


图 6 等效电路法测量开路电压和短路电流电路图

实验数据分析与处理

1、整流

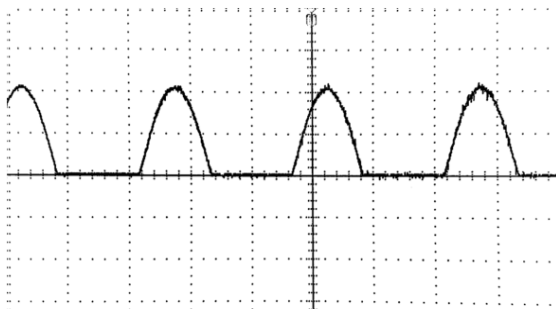


图 7 半波整流输出
(图片经压平、负片处理，后同)

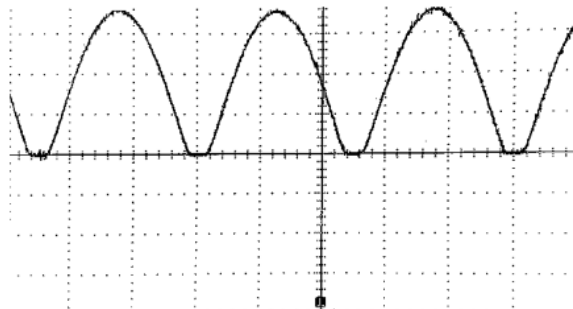


图 8 全波整流输出

2、滤波

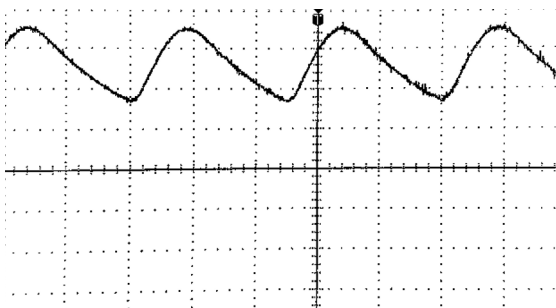


图 9 单电容滤波输出(1 μF)

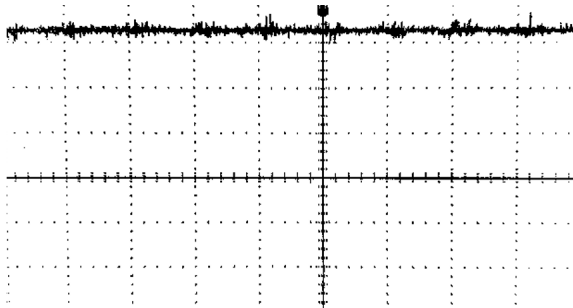


图 10 π 型 RC 滤波输出

	1 μF 单电容	10 μF 单电容	π 型 RC
交流电压有效值	0.579 V	27.39 mV	0 mV
直流电压	2.565 V	2.916 V	1.596 V
纹波系数	0.2257	0.0094	0

表 1 不同滤波电路纹波系数的计算数据

观察分析：用 10 μF 的电容进行滤波时，所得波形脉动更小，相应的纹波系数也更小。这是因为电容器的充放电时间常数 $\tau = RC$ ，当外电阻 R 不变时， C 越大，时间常数越大，充放电所需时间越长，在一个周期内波形的变化就越小。

3、不同负载下纹波系数的测量

下面的表 2、表 3 分别是 π 型 RC 电路的实验数据和单电容电路的实验数据，用 Excel 计算得到 P 和 K_u 。

计算示例：(表 2 第一组数据) $P = \frac{U^2}{R_L} = \frac{(0.051 \text{ V})^2}{20 \Omega} = 0.0001 \text{ W}$ ； $K_u = \frac{u}{U} = \frac{0.0090 \text{ V}}{0.051 \text{ V}} = 0.1765$ 。

R_L	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
交流电压 u/V	0.0090	0.0135	0.0176	0.0213	0.0247	0.0278	0.0306	0.0331	0.0353	0.0391	0.0422	0.0446	0.0465
直流电压 U/V	0.051	0.077	0.102	0.127	0.151	0.176	0.199	0.222	0.246	0.291	0.335	0.377	0.419
功率 P/W	0.0001	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009	0.0010
纹波系数 K_u	0.1765	0.1753	0.1725	0.1677	0.1636	0.158	0.1538	0.1491	0.1435	0.1344	0.126	0.1183	0.111
R_L	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
交流电压 u/V	0.0481	0.0518	0.0523	0.0515	0.0503	0.0488	0.0472	0.0443	0.0415	0.039	0.0367	0.0347	0.0329
直流电压 U/V	0.459	0.647	0.812	0.96	1.093	1.212	1.322	1.512	1.674	1.814	1.933	2.040	2.135
功率 P/W	0.0011	0.0014	0.0016	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023	0.0023	0.0024	0.0023	0.0023	0.0023
纹波系数 K_u	0.1048	0.0801	0.0644	0.0536	0.046	0.0403	0.0357	0.0293	0.0248	0.0215	0.019	0.017	0.0154

表 2 π 型 RC 电路的实验数据

R_L	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
交流电压 u/V	0.2203	0.2432	0.2483	0.247	0.2446	0.2396	0.2338	0.2277	0.2235	0.2115	0.2004	0.1903	0.1811
直流电压 U/V	0.5024	0.6852	0.8405	0.9688	1.099	1.202	1.295	1.379	1.442	1.575	1.688	1.785	1.870
功率 P/W	0.0126	0.0156	0.0177	0.0188	0.0201	0.0206	0.021	0.0211	0.0208	0.0207	0.0204	0.0199	0.0194
纹波系数 K_u	0.4385	0.3549	0.2954	0.255	0.2226	0.1993	0.1805	0.1651	0.155	0.1343	0.1187	0.1066	0.0968
R_L	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
交流电压 u/V	0.1673	0.1358	0.1155	0.0931	0.0893	0.0815	0.0688	0.0638	0.0601	0.0567	0.052	0.0485	0.0436
直流电压 U/V	1.920	2.204	2.382	2.525	2.602	2.690	2.740	2.830	2.898	2.951	3.002	3.021	3.036
功率 P/W	0.0184	0.0162	0.0142	0.0128	0.0113	0.0103	0.0094	0.008	0.007	0.0062	0.0056	0.0051	0.0046
纹波系数 K_u	0.0871	0.0616	0.0485	0.0369	0.0343	0.0303	0.0251	0.0225	0.0207	0.0192	0.0173	0.0161	0.0144

表 3 单电容电路的实验数据

用 Origin 作图，得到 P - R_L 曲线、 K_u - R_L 曲线如图所示。

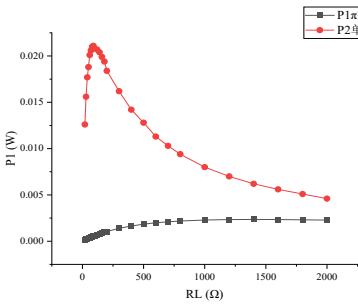


图 11 P - R_L 曲线

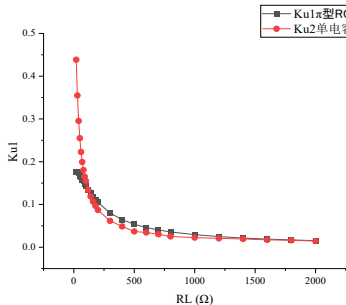


图 12 K_u - R_L 曲线

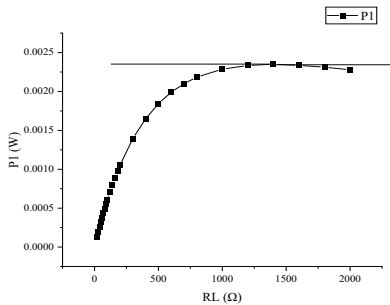


图 13 π 型 RC 电路 P - R_L 曲线

图 11 对 π 型 RC 电路的功率峰值表示不佳，图 13 是单对 π 型 RC 电路作的 P - R_L 曲线，可看到确有峰值出现。

数据分析：由图可见，单电容电路滤波的功率最大值出现在负载等于 90 欧姆处； π 型 RC 电路滤波的功率最大值出现在负载等于 1.4 千欧姆处。单电容电路滤波的优点在于波形输出功率较大。但负载较小时纹波系数较大、且其随负载的变化也较大，不太稳定。 π 型 RC 电路优点在于纹波系数小、随负载变化小，输出波形比较稳定。但是相比于单电容电路波形的输出功率较小。

误差分析：本实验的主要误差在于万用表读数不太稳定，采集某些数据点时后几位不稳定，采用 HOLD 模式人为选取了一个数据，具有较大偶然性。

4、非线性内阻电源开路电压和短路电流的测定

测量数据为开路电压 1.6176 V、短路电流 5.51 mA。

由此计算得内阻 $r = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} = \frac{1.6176 \text{ V}}{5.51 \text{ mA}} = 293.58 \Omega$ 。

误差分析：本实验的主要误差在于读取检流计零刻度线处有一定的偏差，因为电阻箱最小单位是 0.1Ω ，导致不一定能准确地调到零刻度线处。此外，毫安表、电压表有系统误差。

思考题

1、整流、滤波的主要目的是什么？

整流的主要目的是将交流电变换为直流电；滤波的主要目的是把大脉动直流电处理成平滑的脉动小的直流电。

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。

滤波电路中电容不是越大越好。根据实验过程，理由如下：

- ① 电容容量的增大，会使电路体积变大，增加成本、影响空气流动和散热。
- ② 电容上存在寄生电感，电容放电回路会在某个频点上发生谐振。在谐振点，电容的阻抗小。因此放电回路的阻抗最小，补充能量的效果也最好。但当频率超过谐振点时，放电回路的阻抗开始增加，电容提供电流能力便开始下降。电容越大，谐振频率越低，电容能有效补偿电流的频率范围也越小。

3、简述单大电容和小电容 π 型滤波的优劣。

大电容优势：容量大的电容容抗小，对交流成分的衰减量更大，可以提高滤波效果。

大电容劣势：开机时对电容的充电时间长，这一充电电流通过整流二极管时，如果电流强度太大、时间太长，则会损坏二极管。

小电容滤波的优劣与之相对应。