

Readme

预习报告：

实验原理部分自己组织语言简述，并给出重要的公式和图表。

实验操作：

本实验操作中设置了 3 个**现场见证点（w 点）**，完成相应操作后，请报告教师，以便进行现场确认；

数据处理：

按照实验内容的要求完成数据处理与绘图，不需要进行不确定度分析，完成思考题 2。

整流滤波电路及应用

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。例如在远距离输电时，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。在一些非用直流电不可的场合，如工业上的电解和电镀等，也可利用整流设备，将交流电转化为直流电。

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及制作一台直流电源。

实验原理

1. 交流电路

正弦交流电的表达式如下，其曲线如图 6.2.1-1 所示。

$$\begin{aligned} i(t) &= I_p \sin(\omega t + \varphi_1) \\ u(t) &= U_p \sin(\omega t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

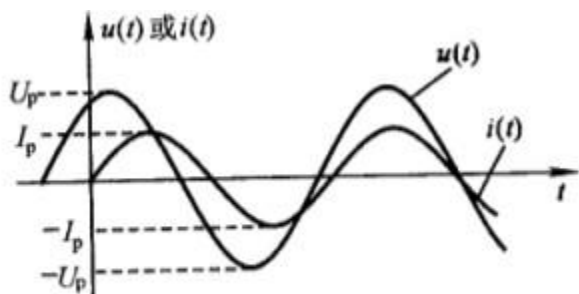


图 6.2.1-1 正弦交流电电压和电流曲线

由此可见，正弦交流电的特性表现在正弦交流电的大小、变化快慢及初始值方面。而它们分别由幅值（或有效值）、频率（或周期）和初相位来确定。所以幅值、频率和初相位被称为正弦交流电的三要素。

(1) 幅值、频率值和有效值

1) 幅值

峰值或最大值，记为 U_p 或 I_p ，峰点电位之差称为“峰-峰值”，记为 U_{p-p} 和 I_{p-p} 。显然 $U_{p-p} = 2U_p$ ， $I_{p-p} = 2I_p$ 。

2) 平均值

令 $i(t)$ 、 $u(t)$ 分别表示时间变化的交流电流和交流电压，则它们的平均值分别为

$$\bar{i} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad \bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (2)$$

这里 T 是周期，平均值实际上就是交流信号中直流分量的大小，所以图 6.2.1-1 所示的正弦交流电的平均值为 0。

3) 有效值

在实际应用中，交流电路中的电流或电压往往是用有效值而不是用幅值来表示。许多交流电流或电压测量设备的读数均为有效值。有效值采用如下定义：

$$I = \left[\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad U = \left[\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

对于具有（2）式性质的纯正弦交流电来说，上述计算结果为： $I = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_p}{\sqrt{2}}$ 。

通常我国使用的市电电压为 220V，意指其有效值 $U=220V$ ，因此它的峰值 $U_p = \sqrt{2}U \approx 311V$ ，表 1 列出了常见交流电的有效值、峰值和平均值的换算关系。

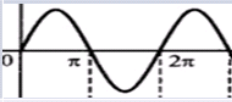

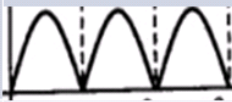
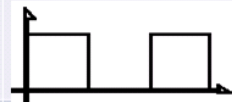
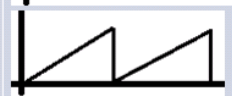
名称	波形	峰值	平均值	总有效值
正弦波		U_p	0	$U_p/\sqrt{2}$
半波正弦		U_p	U_p/π	$U_p/2$
全波正弦		U_p	$2U_p/\pi$	$U_p/\sqrt{2}$
方波		U_p	$U_p/2$	$U_p/\sqrt{2}$
锯齿波		U_p	$U_p/2$	$U_p/\sqrt{3}$

表 1 常见交流电的有效值、峰值和平均值

(2) 周期与频率

正弦交流电通常用周期（T）或频率（f）来表示交变的快慢，也常常用角频率（ ω ）来表示，这三者之间的关系是：

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4)$$

需要指出的是：同频率正弦交流电的和或差均为同一频率的正弦交流电。此外，正弦交流电对于时间的导数（ $\frac{di(t)}{dt}$ ）或积分（ $\int i(t)dt$ ）也仍为同一频率的正弦交流电。这在技术上具有十分重要的意义。

(3) 初相位

交流电 $t=0$ 时的相位（ ϕ ）称为交流电的初相位。它反映了正弦交流电的初始值。它反映了正弦交流电的初始值。在实际电路中由于电流、电压之间的位相不同，电器的平均功率 $P=UI \cos \phi$ （ $\cos \phi$ 称为功率因数）， $\cos \phi$ 越大，电路能量的利用率越高，损耗越小。功率因数是电力工业中需要考虑的一个重要问题。

2. 整流和滤波

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, R_L 是负载电阻。若输入交流电为

$$u_i(t) = U_p \sin \omega t \quad (5)$$

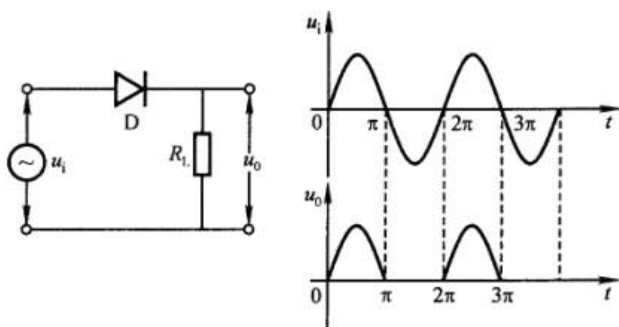


图 6.2.1-2 半波整流电路及其波形图

则经整流后输出电压 $u_o(t)$ 为(一个周期内):

$$\begin{aligned} u_o(t) &= U_p \sin \omega t & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ u_o(t) &= 0 & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \quad (6)$$

其相应的平均值(即直流平均值, 又称直流

$$\text{分量}) \bar{u}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_o(t) dt = \frac{1}{\pi} U_p \approx 0.318 U_p \quad (7)$$

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

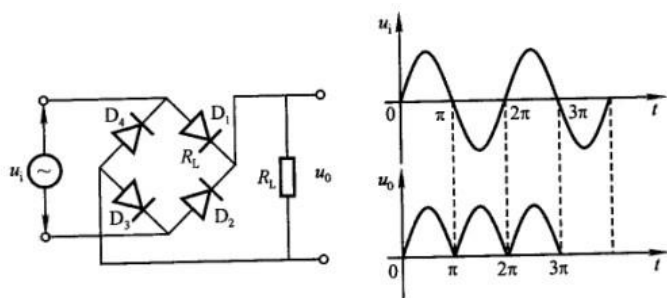


图 6.2.1-3 桥式整流电路和波形图

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

$$u_i(t) = U_p \sin \omega t \quad (8)$$

则经桥式整流后的输出电压 $u_o(t)$ 为(一个周期)

$$\begin{aligned} u_o &= U_p \sin \omega t & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ u_o &= -U_p \sin \omega t & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{其相应直流平均值为} \quad \bar{u}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_o(t) dt = \frac{2}{\pi} U_p \approx 0.637 U_p \quad (10)$$

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)。

(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。图 6.2.1-4 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 达到峰值为 $\sqrt{2}U_i$ 。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）。

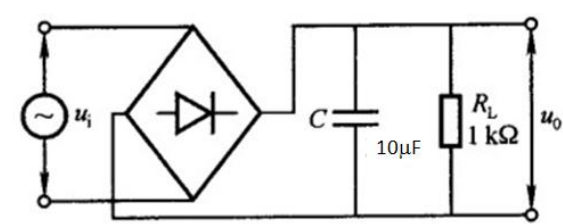


图 6.2.1-4 全波整流电容滤波器

(注意桥式整流电路的简化图)

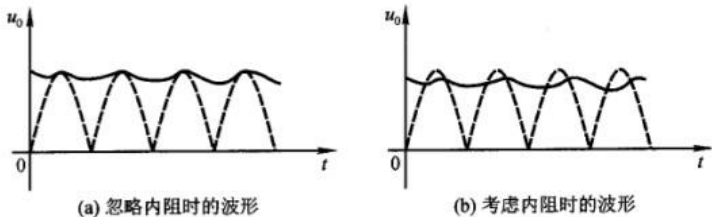


图 6.2.1-5 全波整流电容滤波电路的输出波形

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) π 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 π 型 RC 滤波电路。

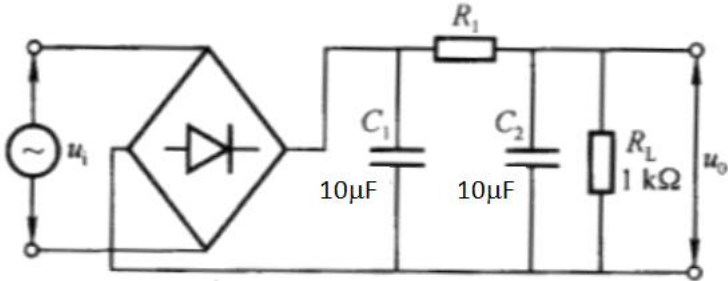


图 6.2.1-6 π 型 RC 滤波电路

π 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）。

实验仪器

信号发生器	示波器	整流电路	滤波电路	变阻器
数字电压表（直流电压档、交流电压档）			未知电阻 3 个	

实验内容

1、整流、滤波电路

(1) 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），并把此正弦波峰峰值固定在 10 V，分别接入半波、全波整流电路的输入端接线柱上（W 点）；

(2) 用示波器分别观察半波、全波整流的输出端信号 u_o ，分别画出 u_o 的波形（示意图）；

(3) 在全波整流电路中，输出端（按图 6.2.1—4 接线）接入电容进行滤波，用示波器观察并画出输出端波形；

(4) 在全波整流电路中，输出端（按图 6.2.1—6 接线）接入 π 型 RC 电路进行滤波，用示波器观察并画出输出端波形；

（注：W 点为停工检测点，也是实验操作的重要节点。遇到 W 点时，请先画出电路图，连接好相关电路后，联系老师，由老师确认后方可继续操作，下同）

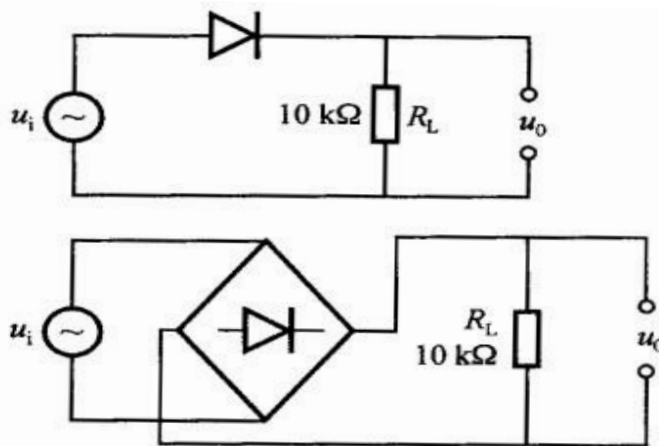


图 6.2.1-7 半波和全波整流电路

2、直流电源特性

(1) 如果将信号源、桥式整流和 π 型 RC 滤波电路视为一个直流电源，请在[20~2000 Ω]范围内测量该电源的负载功率曲线（W 点）。根据你的测量结果，输出功率最大时，负载有多大？（提示：用直流电压档测 10~12 个点）

(2) 负载电阻在[20~2000 Ω]范围内变化，测量输出端的交流、直流电压，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，说明该电源在什么负载条件下可以达到 $K_u < 1\%$ 。

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

3、测量定值电阻（选作内容）

用上述组装电源和所给元件测量待测电阻盒上的三个未知电阻，采用直流电桥法精确测量其中任意一个电阻的阻值，并给出电路图和计算公式（W 点）。

4、理论验证（选作内容）

(1) 用示波器分别测量半波、或全波整流的输出端信号的直流成分大小。

(2) 用万用表分别测量

半波整流输出端信号的直流成分的电压 (DCV)、交流成分电压的有效值 (ACV)

全波整流输出端信号的直流成分的电压 (DCV)、交流成分电压的有效值 (ACV)

(3) 在全波整流电路中, 输出端 (按图 6.2.1— 4 接线) 接入电容进行滤波。

用示波器观测输出端交流信号电压的直流成分大小, 交流成分的变化幅度大小。

用万用表测量输出端交流信号电压的直流成分大小 (DCV), 电压的交流成分的有效值 (ACV)

(4) 实验按图 6.2.1-6 电路接线。调节信号发生器输出电压, 使 $U_{ipp}=10V$ 。

用示波器观察两个滤波电路的输入、输出波形, 画出波形图。

用万用表分别测量, 输入、输出端的 (直流、交流成分的) 电压。

用示波器分别测量, 输入、输出端的交流成分的电压 (波动幅度), 输入、输出端的直流成分的电压。

(5) 对半波、全波整流以及滤波后的输出端的交流成分、直流成分的电压测量值, 各自的变化规律, 进行总结。

思考题

1. 峰-峰值为 1V 的正弦波, 它的有效值是多少?
2. 整流、滤波的主要目的是什么?
3. 要将 220V50Hz 的电网电压变成脉动较小的 6V 直流电压, 需要什么元件?

----- 完 -----