

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。

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

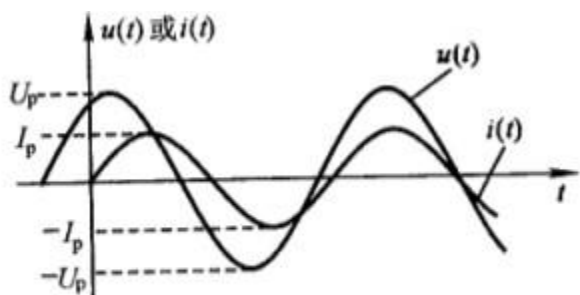


图 6.2.1-1 正弦交流电电压和电流曲线

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。

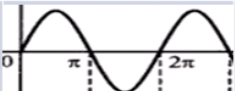
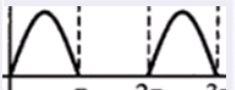
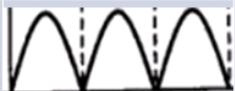

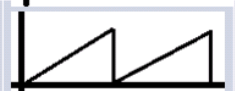
名称	波形	峰值	平均值	总有效值
正弦波		U_p	0	$U_p/\sqrt{2}$
半波正弦		U_p	U_p/π	$U_p/2$
全波正弦		U_p	$2U_p/\pi$	$U_p/\sqrt{2}$
方波		U_p	$U_p/2$	$U_p/\sqrt{2}$
锯齿波		U_p	$U_p/2$	$U_p/\sqrt{3}$

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 $P=UI \cos \varphi$ ($\cos \varphi$ 称为功率因数)， $\cos \varphi$ 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

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

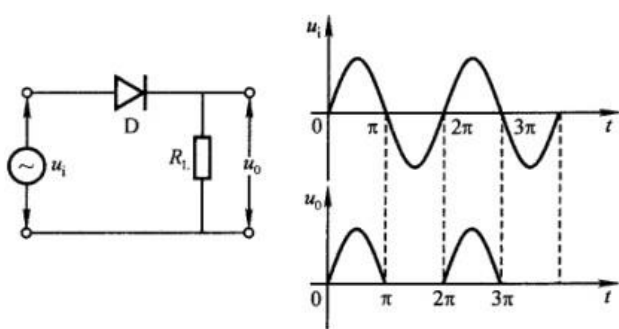


图 6.2.1-2 半波整流电路及其波形图

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

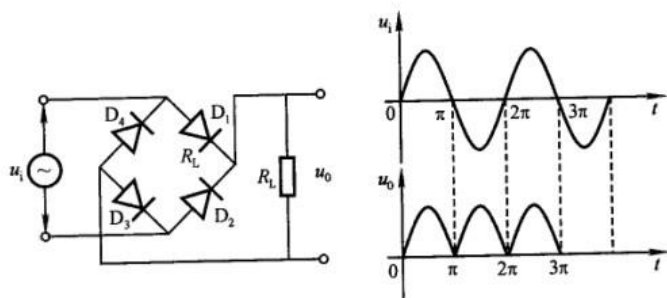


图 6.2.1-3 桥式整流电路和波形图

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，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）。

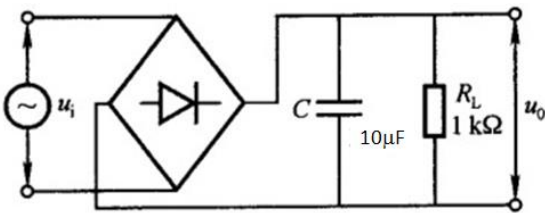


图 6.2.1-4 全波整流电容滤波器

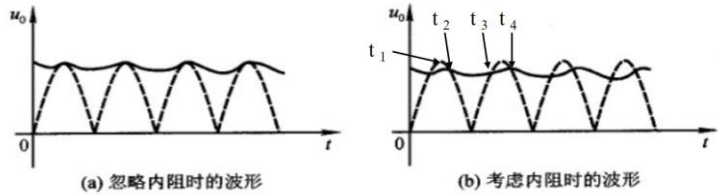


图 6.2.1-5 全波整流电容滤波电路的输出波形

(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) 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。

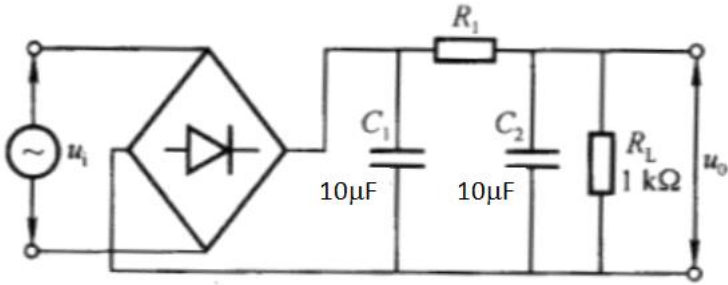


图 6.2.1-6 π 型 RC 滤波电路

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）。

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。

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

实验仪器

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

实验内容

1、整流、滤波电路（基础内容，这部分内容写实验报告）

（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）；

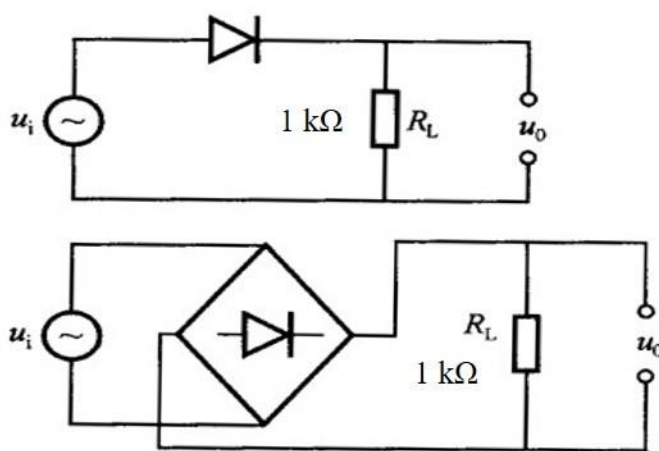


图 6.2.1-7 半波和全波整流电路

（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 μ 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 π 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 π 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。

2、电容对滤波效果的影响（提升内容，这部分内容写实验报告）

（1）**电容对滤波效果的影响：**更换电容为 10 μ 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。

3、信号源频率对滤波效果的影响（进阶内容）

（1）**频率对滤波效果的影响：**固定电容 1 μ F，整流滤波电路，改变信号源频率从 10~2000Hz，观察波形变化并计算对应频率下的纹波系数，比较 π 型电路和单电容的区别。

4、探究影响整流滤波效果的因素（高阶内容）

（1）**综合分析影响滤波效果的因素：**选用可调节的电容，固定频率 400Hz 和峰-峰值 10V 不变，调节电容大小（0.1~1 μF ），观测波形变化和交直流成分的变化。分析纹波系数和电容及信号源频率的关系。

思考题

1. 整流、滤波的主要目的是什么？
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。