

# 项目一

## 二极管及其应用

- ◆ 任务一 二极管的特性、结构与分类
- ◆ 任务二 整流电路及其应用
- ◆ 任务三 滤波电路的类型和应用
- ◆ 实 训 整流滤波电路的测试



## 任务一

# 二极管的特性、结构与分类

## 活动一 半导体二极管的特性和参数

### 一、半导体二极管的结构和符号

半导体二极管(简称二极管)是由1个PN结加上2个接触电极、引线和管壳构成的,如图1-1(a)所示,如图1-1(b)所示为普通二极管的外形。

二极管电路符号如图1-1(c)所示,图中A是指从P区引出的电极,称为P极或正极;K是指从N区引出的电极,称为N极或负极。三角箭头方向表示PN结正向电流的方向,即二极管的正向电流是从P极流入,N极流出的。

二极管的关键部分是PN结,因此,二极管的主要特点是具有单向导电性。

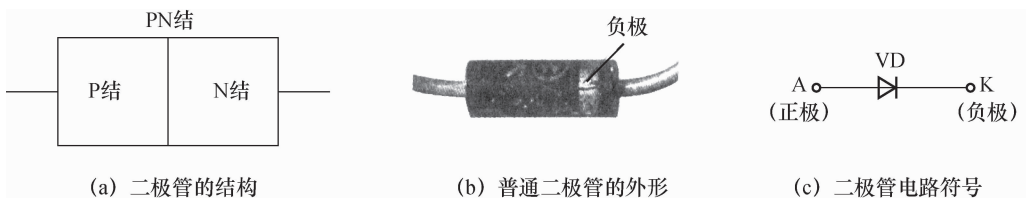


图 1-1 二极管的结构和符号

### 二、二极管的伏安特性

二极管的导电性能由加在二极管两端的电压与流过二极管的电流来决定,两者之间的关系曲线称为二极管伏安特性曲线,如图1-2所示。由图可见,二极管的导电特性可分为正向特性和反向特性两部分。

#### 1. 正向特性

正向特性是指二极管加正向电压时电流随电压变化的关系,即图1-2中的OA段和AB段。

OA段:当二极管两端的电压为0时,电流也为0。当电压升高时,电流很小且基本不



动画  
二极管的伏安特性

变。这个电压区域称为“死区”，硅二极管死区电压约为  $0.5\text{ V}$ ，锗二极管死区电压约为  $0.1\text{ V}$ 。在实际使用中，当二极管正向电压小于死区电压时，二极管处于正向电流为  $0$  的截止状态。

**AB 段：**在正向电压大于死区电压之后，随着外加电压的增加，正向电流迅速增大，特性曲线接近直线，二极管处于正向导通区。此时，二极管两端电压降变化不大，硅二极管为  $0.6\sim 0.7\text{ V}$ ，锗二极管为  $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。

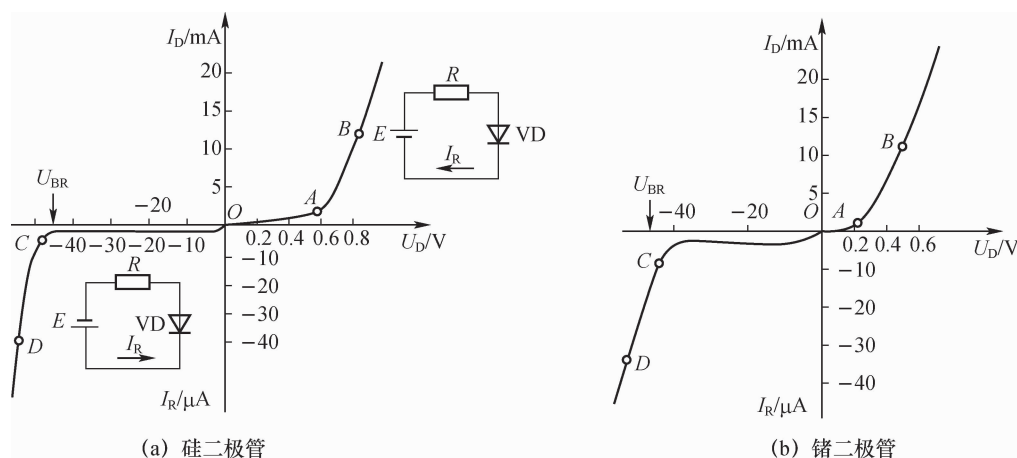


图 1-2 二极管的伏安特性曲线

## 2. 反向特性

反向特性是指二极管加反向电压时电流随电压变化的关系，即图 1-2 中的 *OC* 段和 *CD* 段。

**OC 段：**当给二极管加反向电压时，形成的反向电流极小，而且在一定的范围内基本不随反向电压的变化而变化。这个电压区域称为反向截止区。二极管反向截止时，通过的电流称为反向饱和电流或反向漏电流，通常硅二极管有几到几十微安；锗二极管有几十到几百微安。其值越小，二极管质量越好。

**CD 段：**反向电压过高时，反向电流急剧增大，特性曲线近似为一条陡峭直线。这时，二极管出现反向击穿现象，发生反向击穿时所需的外加电压称为反向击穿电压  $U_{BR}$ 。反向击穿区的特点是反向电流变化很大，相对应的反向电压却变化很小。稳压二极管就是利用这种特性制成的。

通过上面的分析可以看出。

(1) 二极管的电压与电流变化不呈线性关系，其电阻值不是常数，二极管是非线性器件。

(2) 二极管具有单向导电性，即外加正向电压大于死区电压（死区电压，锗二极管约为  $0.1\text{ V}$ ，硅二极管约为  $0.5\text{ V}$ ）时，二极管导通；外加正向电压小于死区电压时，二极管截止。

(3) 二极管正向导通后，正向电压变化范围很小（一般锗二极管为  $0.2\sim 0.3\text{ V}$ ，硅二极

管为 $0.6\sim 0.7\text{ V}$ ),近似恒压特性。

(4) 锗二极管比硅二极管的正向电流上升快,正向电压降小,但锗二极管比硅二极管的反向电流大得多,受温度影响比较明显。

【例 1-1】 有 3 只二极管,用万用表直流电压挡分别测出这 3 只二极管的正极与负极的对地电位(参考点电位),如图 1-3 所示,试判断这 3 只二极管的偏置状态。

解:要判别二极管是正偏还是反偏,只要记住,二极管正极电位高于负极电位,则二极管正偏,否则反偏。根据上述规则,如图 1-3(a)所示二极管为正偏,如图 1-3(b)和(c)所示二极管均为反偏。

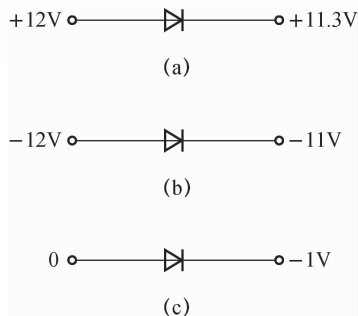


图 1-3 判别二极管偏置状态

### 三、二极管的主要参数

二极管的参数是定量描述二极管性能优劣的质量指标。其主要参数有:

#### 1. 最大整流电流 $I_{Dm}$

最大整流电流  $I_{Dm}$ 是指二极管长时间工作时允许通过的最大正向平均电流。使用时,应注意流过二极管的最大正向平均电流不大于这个数值,否则可能损坏二极管。

#### 2. 最高反向工作电压 $U_{Rm}$

最高反向工作电压  $U_{Rm}$ 是指二极管正常使用时所允许加的最高反向电压。其值通常取二极管反向击穿电压  $U_{BR}$ 的一半左右,使用时如果超过此值,二极管将有被击穿的危险。

#### 3. 反向电流 $I_R$

反向电流  $I_R$ 是指在室温下二极管未被击穿时的反向电流值,或者是加上最大反向工作电压时的反向电流值。

#### 4. 最高工作频率 $f_m$

最高工作频率  $f_m$ 是指保证二极管能起单向导电作用时的最高工作频率。如果通过二极管电路的频率大于该值,二极管将不能起到单向导电的作用。

【例 1-2】 如图 1-4 所示电路,  $VD_1$ 、 $VD_2$  为硅二极管,求流过二极管的电流  $I$  为多少?

解:硅二极管的正向电压降  $U_D$  约为  $0.7\text{ V}$ ,则

$$U_{D1} + U_{D2} = 1.4\text{ V}$$

根据欧姆定律,流过二极管的正向电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20 - 1.4}{1000}\text{ A} = 18.6\text{ mA}$$

【例 1-3】 有同型号二极管 3 只,测得的数据见表 1-1,试问哪个二极管性能最好?

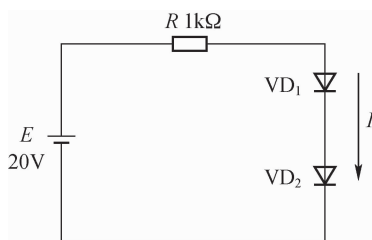


图 1-4 简单二极管电路

表 1-1 3 只二极管的几组实测数据

二极管	正向电流/mA (正向电压相同)	反向电流/ $\mu\text{A}$ (反向电压相同)	反向击穿电压/V
甲	30	3	150
乙	100	2	200
丙	50	6	80

解:乙二极管的性能最好。因为它的耐压高,反向电流小;在正向电压相同情况下,乙二极管正向电阻最小。

## 四、二极管的简易测试

### 1. 判别二极管的极性

在实际工作中使用二极管时,常须辨别二极管的正、负极性。最简单的判断方法是用 1 个普通万用表来测量它的正、反向电阻,如图 1-5 所示。测量时,首先将万用表欧姆挡的量程拨到  $R \times 100$  挡或  $R \times 1 \text{ k}$  挡位置,因为在  $R \times 1$  挡位置时电流太大, $R \times 10 \text{ k}$  挡位置时电压太高,都有可能损坏二极管。然后,将两表笔分别接二极管的 2 个电极,交换电极再测一次,从而得到 2 个电阻值。管子的正向电阻值一般为几百至几千欧姆,反向电阻值为几十千到几百千欧姆。所以,可知电阻值中数值小的一次黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是二极管的负极。用不同的电阻挡测量,测量出的正向电阻和反向电阻会有差别,这是由于二极管是非线性器件。

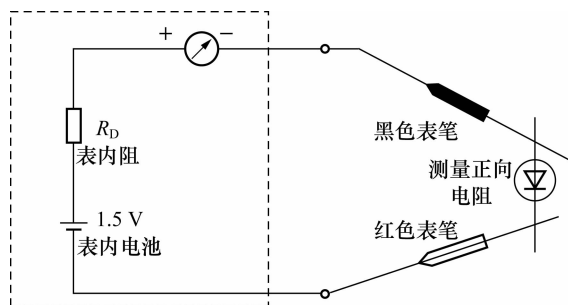


图 1-5 二极管极性的判断

### 2. 检测二极管的好坏

检测时,用万用表的红、黑两根表笔分别正接和反接二极管两端,即可测出大、小 2 个阻值。如果测得的正、反向电阻值相差很大,则表示该二极管的单向导电性能好。反之,如果测得的正、反向电阻值差不多,则表示二极管性能差。要特别注意两种情况:如果测得正、反向阻值均为  $\infty$ ,则表示二极管内部已经断路;如果测得阻值为 0,则表示二极管的两个电极短路。无论测得正、反向电阻均为 0 还是为  $\infty$  都说明二极管已坏,不能再继续使用。

## 活动二 特殊的二极管及其应用

除前面讨论的普通二极管外,还有若干特殊二极管,如稳压二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等,它们具有特殊的功能,下面分别加以介绍。

### 一、稳压二极管

#### 1. 稳压二极管的特性

稳压二极管(简称稳压管)的符号和伏安特性如图 1-6 所示。由伏安特性曲线可知,稳压管反向击穿特性曲线非常陡峭。在反向击穿区,反向击穿电流在较大范围内变化时,稳压管两端的电压变化范围却很小。稳压管就是利用其反向击穿特性进行稳压的。

稳压管均为硅二极管,只要反向击穿电流小于它的最大允许电流,稳压管一般不会损坏。因此需要限制稳压管的工作电流。

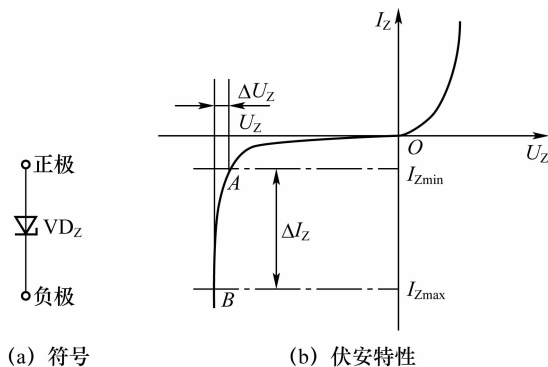


图 1-6 稳压二极管的符号和伏安特性

#### 2. 稳压二极管的主要参数

(1) 稳定电压  $U_Z$ 。它是指稳压管中的电流为规定电流时,稳压管两端的电压值。 $U_Z$  近似等于反向击穿电压  $U_{BR}$ 。不同型号的稳压管的  $U_Z$  值不同,即使相同型号的稳压管, $U_Z$  也具有一定的分散性。使用和更换稳压管时,应给予注意。

(2) 稳定电流  $I_Z$ 。它是指稳压管工作在稳压状态时,稳定电流的参考值。它作为应用时的参考数据。稳定电流  $I_Z$  有最大稳定电流  $I_{Zmax}$  和最小稳定电流  $I_{Zmin}$  之分。

(3) 最大耗散功率  $P_{Zmax}$ 。它是指稳压管正常工作时不致因过热而损坏所能承受的最大耗散功率。 $P_{Zmax}$  一般为几百毫瓦到几瓦。

(4) 动态电阻  $r_z$ 。它是指稳压管击穿后,某一电压的变化量  $\Delta U_Z$  与对应的电流变化量

$\Delta I_Z$  之比。动态电阻  $r_Z$  表示稳压管反向击穿特性曲线的陡峭程度。动态电阻越小,稳压效果越好。

### 3. 稳压管应用时应注意的问题

稳压管在应用时应当注意以下几个方面的问题。

- (1) 稳压管的正极要接低电位,负极要接高电位,保证工作在反向击穿区。
- (2) 为了防止稳压管的工作电流超过最大稳定电流  $I_{Zmax}$  而发热损坏,必须在回路中串联限流电阻  $R$ 。
- (3) 稳压管不能直接并联使用。

## 二、发光二极管

发光二极管简称为 LED,它的外形及电路符号和伏安特性分别如图 1-7(a)和(b)所示。

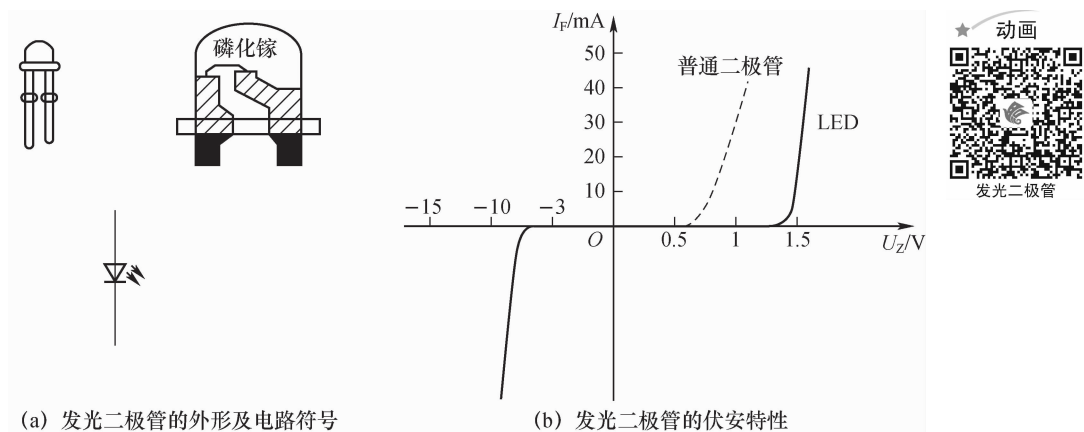


图 1-7 发光二极管的外形及电路符号和伏安特性

发光二极管和普通二极管一样,具有单向导电性能,它的死区电压比普通二极管高,一般为  $1\sim 2\text{ V}$ 。当它正向导通的时候,会发出光线,根据材料的不同,能发出红、绿、黄等几种颜色的可见光,还能发出人眼看不见的红外光,发光的强度与正向电流的大小成正比。

在实际应用中,发红外光的二极管常用于遥控器,如电视的遥控器;发可见光的二极管常用于显示电路,如图 1-8 所示。

**注意:**发光二极管在使用时,应接适当的限流电阻。

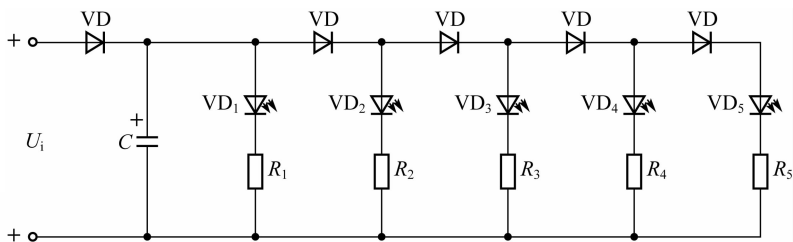


图 1-8 简单的发光二极管电平指示电路

### 三、光电二极管

光电二极管(又称光敏二极管)是将光信号变成电信号的特殊二极管,电路符号如图 1-9 所示。光电二极管是利用半导体的光敏特性制成的。它工作在反向电压,当不受光照时,通过二极管的反向电流很小;当有光照射时,反向电流显著增加,这个电流称为光电流。在实际应用中,光电二极管主要用于自动控制电路中,如图 1-10 和图 1-11 所示。



图 1-9 光电二极管的电路符号

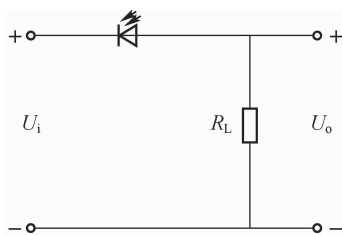


图 1-10 光检测电路

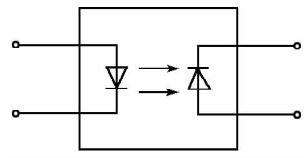
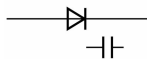


图 1-11 光电耦合器

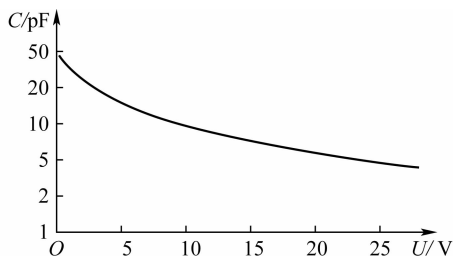
### \* 四、变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容效应制成的,可以用作电容器。它的电容量与所加的反偏电压大小有关,可通过改变其反偏电压的大小达到改变电容的目的。变容二极管两端应接反向电压才能正常工作。

变容二极管的电路符号以及结电容  $C$  与反偏电压  $U$  的关系如图 1-12(a)和(b)所示。



(a) 电路符号



(b)  $C-U$  特性曲线

图 1-12 变容二极管的电路符号和  $C-U$  特性曲线

在实际应用中,变容二极管常用于高频电路的调频、电调谐和自动频率控制等,如图 1-13 所示为变容二极管用于电调谐电路。



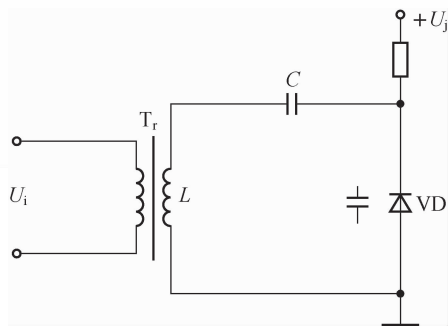


图 1-13 变容二极管用于电调谐电路



## 巩固练习

### 一、填空题

1. 二极管的关键部分是 PN 结, 因此, 二极管的主要特点是具有\_\_\_\_\_。
2. 二极管的主要参数包括\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 和最高工作频率。

### 二、简答题

1. 简述稳压管应用时应注意的问题。
2. 叙述判断二极管极性与质量优劣的方法。



## 任务二

# 整流电路及其应用

### 活动一 单相半波整流电路

单相半波整流电路由电源变压器 T 的二次侧绕组、整流二极管 VD 和负载  $R_L$  串联组成,如图 1-14 所示。

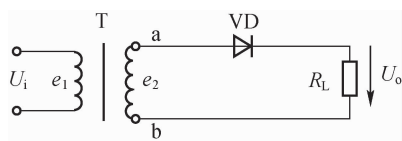


图 1-14 单相半波整流电路



#### 一、工作原理

设变压器二次侧感应交流电压为

$$e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \omega t$$

式中,  $E_2$  为交流电压的有效值。

在交流电压  $e_2$  的正半周( $0 \sim \pi$ ), 设电源变压器二次侧输出电压极性 a 端为正、b 端为负, 如图 1-15(a) 所示。此时, 二极管 VD 正偏导通, 电流  $i_D$  由变压器二次侧 a 端经过二极管 VD、负载  $R_L$  回到变压器二次侧 b 端, 若忽略二极管正向电压降, 则负载  $R_L$  上获得的电压为  $u_o = e_2$ , 如图 1-16 和图 1-17 所示。

在交流电压  $e_2$  的负半周( $\pi \sim 2\pi$ ), 电源变压器二次侧输出电压极性变 a 端为负、b 端为正, 如图 1-15(b) 所示。此时, 二极管 VD 反偏截止, 负载  $R_L$  上电流、电压均为零,  $e_2$  作为二极管的反偏电压全部加在二极管两端, 如图 1-16 和图 1-17 所示。

由此可知, 电路加上交流电压后, 交流电压只有半个周期能够产生与二极管箭头方向一致的电流(如图 1-17 所示), 这种电路称为半波整流电路。

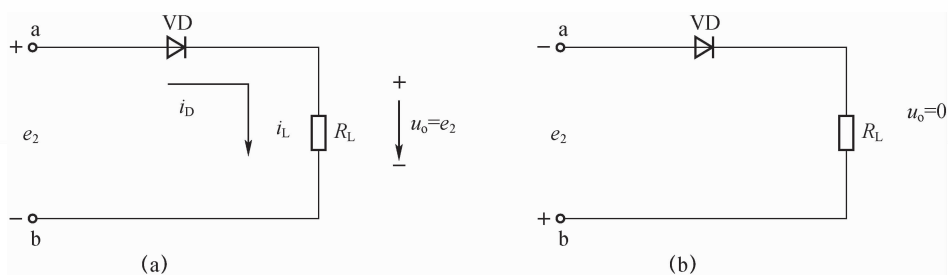


图 1-15 整流过程分析图

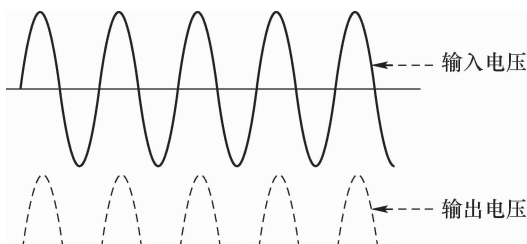


图 1-16 单相半波整流电路输入与输出电压波形图

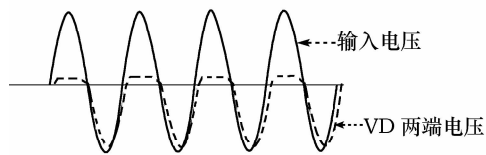


图 1-17 整流二极管端电压与电路输入电压波形图

## 二、负载电压的平均值

由图 1-16 可知,负载所得半波整流电压虽然方向不变,但大小仍随时间不断变化,这种电压称为脉动直流电压,可以用平均值表示其大小。数学理论证明,一个周期内,半波整流电路输出电压的平均值是交流电压峰值的  $\frac{1}{\pi}$ ,即

$$U_o = \frac{\sqrt{2}E_2}{\pi} \approx 0.45E_2 \quad (1-1)$$

## 三、负载电流的平均值

负载电流的平均值的表达式为

$$I_L = \frac{U_o}{R_L} \approx 0.45 \frac{E_2}{R_L} \quad (1-2)$$

## 四、整流元件的选择

单相半波整流电路流过整流二极管 VD 的平均电流  $I_D$  与流过负载  $R_L$  的直流电流  $I_L$  相等,即  $I_D = I_L$ ,可见,选用整流二极管时,最大整流电流须满足

$$I_{Dm} \geq I_D \quad (1-3)$$

由图 1-17 可知,在交流电压的负半周,二极管所承受的最高反向电压为  $e_2$  的峰值,即

$$U_{Rm} = \sqrt{2}E_2 \quad (1-4)$$



由以上分析可知,单相半波整流电路由于结构简单,输出的整流电压波动很大,整流电流效率低,电路需要改进。

## 活动二 单相桥式整流电路

全波整流电路是在半波整流方式下对剩下的半个周期的波形也进行整流的电路,桥式整流电路是全波整流电路中的一种类型。

使用 4 个整流元件,组成如图 1-18 所示的桥式整流电路。如图 1-19 所示为桥式整流电路的简单画法。

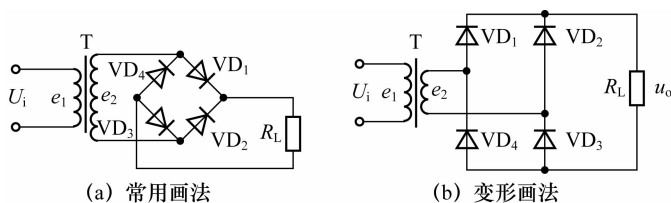


图 1-18 桥式整流电路

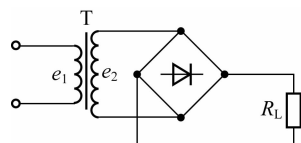


图 1-19 桥式整流电路的简单画法

### 一、工作原理

设变压器二次侧感应交流电压为

$$e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \omega t$$

式中,  $E_2$  为交流电压的有效值。

当  $e_2$  为正半周时,变压器二次侧电压极性为 a 正 b 负,如图 1-20(a)所示,二极管  $VD_1$  和  $VD_3$  正偏导通, $VD_2$  和  $VD_4$  反偏截止,电流路径为  $a \rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_3 \rightarrow b$ ,将截止的  $VD_2$ 、 $VD_4$  略去,从图 1-20(a)中可看出负载  $R_L$  上获得自上而下的脉动电流,其电压极性为上正下负。

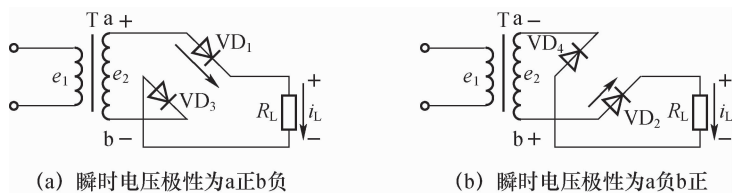


图 1-20 整流过程分析图

在  $e_2$  的负半周,变压器二次侧电压极性为 a 负 b 正,如图 1-20(b)所示, $VD_2$  和  $VD_4$  正偏导通, $VD_1$  和  $VD_3$  反偏截止,电流路径为  $b \rightarrow VD_2 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4 \rightarrow a$ ,将截止的  $VD_1$ 、 $VD_3$  略去,从图 1-20(b)中可看出负载  $R_L$  上仍获得自上而下的脉动电流,其电压极性也仍为上正下负。

从上述分析可以看出,在交流电压的正负两个半周内,负载  $R_L$  上都能获得同方向的脉动电流和同极性的脉动电压。所以,桥式整流属于全波整流范畴,其电压波形如图 1-21 所示。

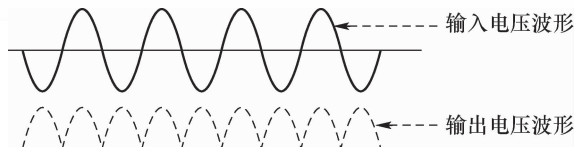


图 1-21 桥式整流电路输入与输出电压波形

## 二、负载电压和电流的平均值

由图 1-21 可知,全波整流电路比半波整流电路的整流效率提高 1 倍,其负载所获直流电压平均值也比半波整流高 1 倍,即

$$U_o = 2 \times 0.45E_2 = 0.9E_2 \quad (1-5)$$

负载电流的平均值为

$$I_L = 0.9 \frac{E_2}{R_L} \quad (1-6)$$

## 三、整流元件的选择

桥式整流电路的结构决定了每只整流二极管只在半个周期内导通,即在一个周期内流过每个整流二极管的平均电流  $I_D$  只有负载电流  $I_L$  的一半,即

$$I_D = \frac{1}{2} I_L \quad (1-7)$$

在图 1-18(a)所示的桥式整流电路中,若  $VD_1$ 、 $VD_3$  这 2 只二极管导通时,  $e_2$  将加到不导通的 2 只二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  两端,使这 2 只二极管承受的最高反向电压为变压器二次侧感应电压的峰值,如图 1-22 所示,与单相半流整流电路相同,即

$$U_{Rm} = \sqrt{2}E_2 \quad (1-8)$$

所以,桥式整流电路中,整流二极管的选择原则是:

最大整流电流须满足

$$I_{Dm} \geq \frac{1}{2} I_L$$

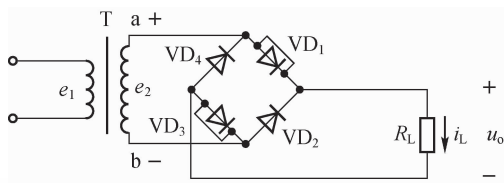


图 1-22 截止二极管所受的反向电压



最高反向工作电压须满足

$$U_{\text{Rm}} \geq \sqrt{2}E_2$$

【例 1-4】某电阻性负载,它需要一个直流电压为 110 V、直流电流为 3 A 的供电电源,现采用桥式整流电路,试求变压器二次侧电压的有效值  $E_2$ ,并根据计算结果选择整流二极管型号。

解:由式(1-5)可知,变压器二次侧电压的有效值为

$$E_2 = \frac{U_o}{0.9} = \frac{110}{0.9} \text{ V} = 122 \text{ V}$$

根据式(1-7),流过每一只整流二极管的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \times 3 \text{ A} = 1.5 \text{ A}$$

根据式(1-8),每一只整流二极管承受的最高反向电压为

$$U_{\text{Rm}} = \sqrt{2}E_2 = \sqrt{2} \times 122 \text{ V} \approx 172 \text{ V}$$

根据计算结果查阅有关晶体管手册,可选用 2CZ12D 整流二极管。

【例 1-5】一个纯电阻负载单相桥式整流电路接好以后,通电进行实验,一接通电源,二极管马上冒烟了。试分析产生这种现象的原因。

解:(1) 二极管冒烟说明流过二极管的电流太大。

(2) 从电源变压器二次侧与二极管负载构成的回路来看,出现大电流的主要原因有两方面。

①看负载有没有短路,如果负载短路,变压器二次侧电压  $e_2$  经过二极管构成通路,二极管因过流烧坏;

②如果负载确实没有短路,那就要看四臂桥路中整流管是否接反。

各类整流电路性能的比较见表 1-2。

表 1-2 各类整流电路性能的比较

整流电路	输出电压的平均值 $U_o$	整流管承受的最高反向电压 $U_{\text{Rm}}$	流过整流二极管的平均电流 $I_D$	负载上的平均电流 $I_L$	特点
半波整流	$0.45E_2$	$\sqrt{2}E_2$	$I_L$	$0.45 \frac{E_2}{R_L}$	电路简单,输出电压的脉动性大,电源利用率低
桥式整流	$0.9E_2$	$\sqrt{2}E_2$	$\frac{1}{2} I_L$	$0.9 \frac{E_2}{R_L}$	负载能力较强,需用 4 只整流二极管,电源利用率高

注: $E_2$  为变压器二次侧感应交流电压的有效值。

### 活动三 \* 用集成运放组成的全波整流电路

如图 1-23 所示为采用集成运放的全波整流电路,当输入信号为正半周( $U_i \geq 0$ )时,  $VD_1$  导通,电路成为增益等于 1 的反相放大电路,即  $U_o = -U_i$ 。输入信号为负半周( $U_i \leq 0$ )时,  $VD_1$  不导通,输入信号通过  $R_3$  加到集成运放的同相输入端,因为集成运放看作虚地,所以反相输入端也是  $U_i$ ,电阻  $R_1$  中无电流,反馈电阻  $R_2$  中无电流,则  $U_o = U_i$ ,电路输出波形如图 1-24 所示。

电路中,  $VD_2$  常为导通状态,其导通电压为  $-U_{D2}$ ,抵消了  $VD_1$  的正向导通电压  $U_{D1}$ ,从而提高整流精度,但实际上不能完全抵消,会有些误差。另外,集成运放经常保持虚地,集成运放本身工作能连续,同相与反相工作切换时不会有延迟,因此可以高速工作。

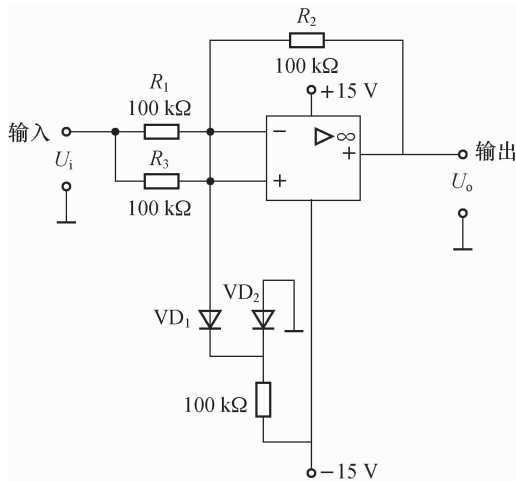


图 1-23 采用集成运放的全波整流电路

★ 动画



集成运放的全波整流电路

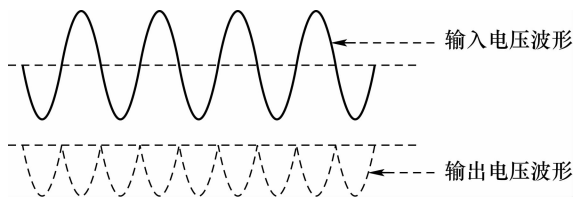


图 1-24 电路输入与输出电压波形图



#### 巩固练习

##### 一、填空题

1. 一个周期内,半波整流电路输出电压的平均值是交流电压峰值的\_\_\_\_\_。
2. 单相半波整流电路由于结构简单,输出的整流电压\_\_\_\_\_,整流电流\_\_\_\_\_,电路需要改进。

## 二、简答题

1. 简述单相桥式整流电路的工作原理。
2. 桥式整流电路中,整流二极管的选择原则是什么?





## 任务三

## 滤波电路的类型和应用

## 活动一 滤波电路

利用整流电路虽能把交流电转变为直流电,但整流输出的直流电压含有波动成分(交流成分),称为脉动直流电。这种输出电压用来向电镀、电解等负载供电还是可以的,但不宜做如电子仪器、电视机、计算机等设备的直流电源,这类设备要求直流电源输出的是电压大小、方向都固定且不随时间变化的平滑直流电。

★ 动画



滤波电路的类型

要获得平滑的直流电,须对整流后的波形进行整形,用来对波形进行整形的电路称为滤波电路。构成滤波电路的主要元件是电感线圈和电容器,它们有对不同频率具有不同电抗的特性,使负载上电压(或电流)的直流分量尽可能大,交流分量尽可能小,以减小输出电压纹波。

常用滤波电路的几种形式如图 1-25 所示。

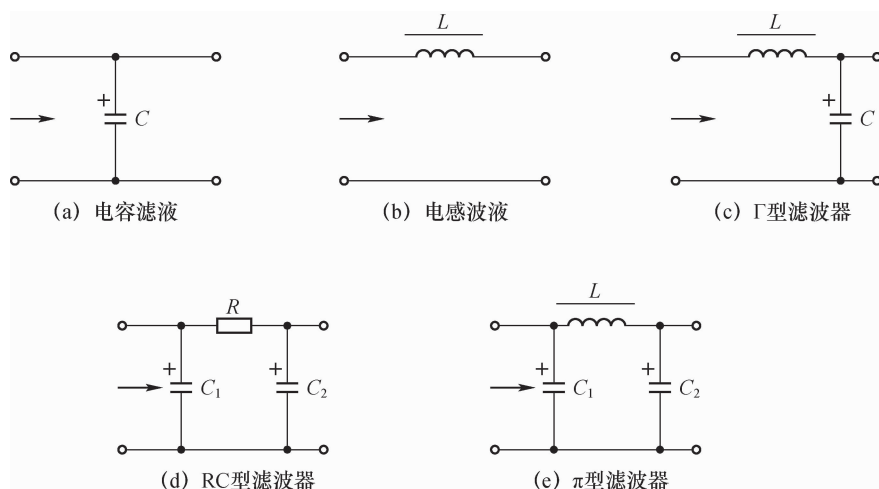


图 1-25 几种常见的滤波电路

## 活动二 滤波电路的应用

### 一、电容滤波电路的工作过程

如图 1-26 所示为半波整流电容滤波电路,其电路特点是在整流电路负载电阻两端并联上滤波电容  $C$ 。半波整流电容滤波电路的滤波过程及输出波形如图 1-27 所示。

图 1-27(a)中  $OA$  段:在  $e_2$  正半周  $0 \sim t_1$  时间内,二极管  $VD$  受正向电压作用而导通,此时  $e_2$  通过二极管  $VD$  向  $R_L$  供电,同时又向电容器  $C$  充电。由于二极管  $VD$  的正向电阻很小,故充电很快。当  $e_2$  达到最大值  $\sqrt{2}E_2$  时,电容器  $C$  两端电压  $u_C$  随之达到最大值  $\sqrt{2}E_2$ 。



动画

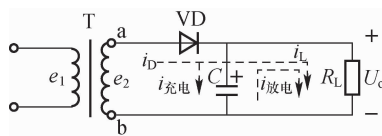
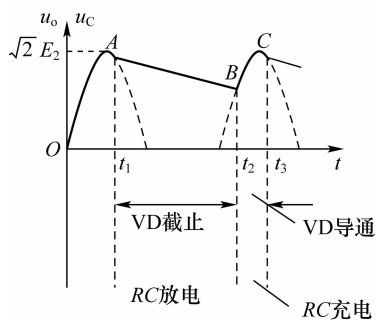
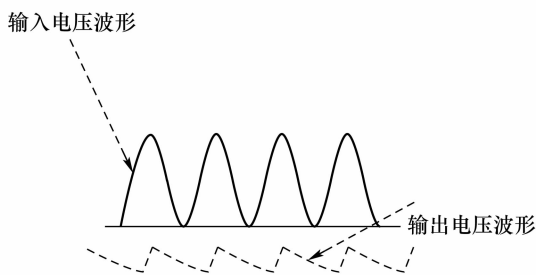


图 1-26 半波整流电容滤波电路



(a) 滤波过程分析图



(b) 电路输入与输出电压波形图

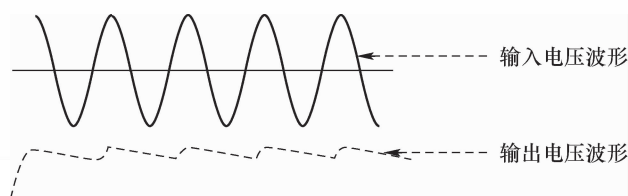
图 1-27 半波整流电容滤波电路的滤波过程及输出波形图

图 1-27(a)中  $AB$  段:在  $t_1 \sim t_2$  时段内,由于电容器  $C$  上已充足电,  $u_C = U_{Rm} = \sqrt{2}E_2$ , 而  $e_2$  由最大值下降,故  $e_2 < u_C$ 。于是,二极管  $VD$  因受反向电压而截止,电容器  $C$  向  $R_L$  放电,  $u_C$  逐渐下降。

图 1-27(a)中  $BC$  段:在  $t_2 \sim t_3$  时间内,  $e_2 > u_C$ , 二极管  $VD$  因获得正向电压而导通,  $e_2$  在向负载供电的同时,又对电容器  $C$  充电,使  $u_C$  重新上升为  $\sqrt{2}E_2$ 。

在  $t_3$  时刻以后,电容器  $C$  将再次向  $R_L$  放电,重复上述  $AB$  段的变化。

电容器放电的快慢与负载电阻  $R_L$  和滤波电容  $C$  的乘积有关,负载电阻  $R_L$  越小,电容  $C$  放电越快,则图 1-27(a)中  $B$  点的电压越低,输出电压脉动越大;反之,负载电阻  $R_L$  越大,电容  $C$  放电越慢,输出直流电压就越平滑,且越接近  $\sqrt{2}E_2$ 。电容滤波电路仅适用于负载电流较小的场合。如图 1-28 所示为增大滤波电容  $C$  后电路的输出电压波形图,  $RC$  放电时间延长,即  $RC$  放电速度变慢,输出直流电压的脉动性与图 1-27(b)相比有所减小。

图 1-28 增大滤波电容  $C$  后电路的输出电压波形图

电容滤波在桥式整流电路中的工作原理与半波整流时一样,不同点是桥式整流电路中  $e_2$  在正负半周都对电容器充电,即在一周期内  $e_2$  对电容器  $C$  充电 2 次,电容器向负载电阻放电的时间缩短,因此输出电压更加平滑,如图 1-29 所示。

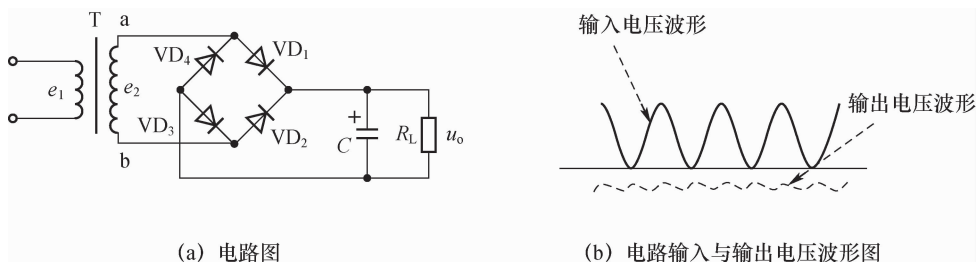


图 1-29 单相桥式整流电容滤波电路

## 二、负载电压的平均值

在整流电路中接入滤波电容后,半波整流电容滤波电路中输出电压的平均值为

$$U_o = E_2 \quad (1-9)$$

桥式整流电容滤波电路中输出电压的平均值为

$$U_o = 1.2E_2 \quad (1-10)$$

空载时输出电压的平均值(输出端开路,  $R_L \rightarrow \infty$ )为

$$U_o = 1.4E_2$$

此时电容滤波电路的输出电压接近  $e_2$  的峰值。

**【例 1-6】** 单相桥式整流电容滤波电路如图 1-30 所示,已知输出电压  $U_o = 15 \text{ V}$ ,  $R_L = 100 \Omega$ ,电源频率  $f = 50 \text{ Hz}$ 。试计算:

- (1) 变压器二次侧电压的有效值  $E_2$ ;
- (2) 滤波电容  $C$  的耐压值和电容量。

解:(1)根据式(1-10),桥式整流电容滤波电路的输出电压为

$$U_o = 1.2E_2$$

则

$$E_2 = \frac{U_o}{1.2} = \frac{15}{1.2} \text{ V} = 12.5 \text{ V}$$



(2)当负载空载时,电容器承受最大电压,所以电容器的耐压值为

$$U_{Cm} = \sqrt{2}E_2 = \sqrt{2} \times 12.5 \text{ V} = 17.7 \text{ V}$$

电容器的电容量应满足

$$R_L C \geq (3 \sim 5) T/2$$

取  $R_L C = 2T$ ,  $T = \frac{1}{f}$ , 则

$$C = \frac{2T}{R_L} = \frac{2}{R_L f} = \frac{2}{R_L \times 50} \text{ F} = 400 \mu\text{F}$$

故可选取  $470 \mu\text{F}/25 \text{ V}$  的电解电容。

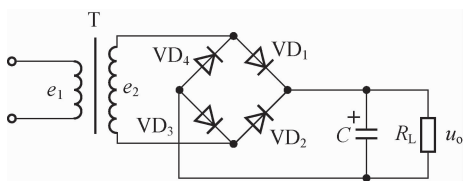


图 1-30 单相桥式整流电容滤波电路



## 巩固练习

### 一、填空题

1. 要获得平滑的直流电,须对整流后的波形进行整形,用作对波形整形的电路称为\_\_\_\_\_。
2. 常用滤波电路包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、RC 型滤波器和  $\pi$  型滤波器。

### 二、计算题

桥式整流滤波电路如图 1-31 所示,要求输出电压为  $25 \text{ V}$ ,输出直流电流为  $200 \text{ mA}$ 。

(1)输出端 A 为正电压还是负电压? 电解电容的极性如何?

(2)选择耐压值和容量多大的电容?

(3)整流管的最大正向平均整流电流和最高反向工作电压如何选择?

(4)若有 1 只二极管开路, $U_L$  是多少?

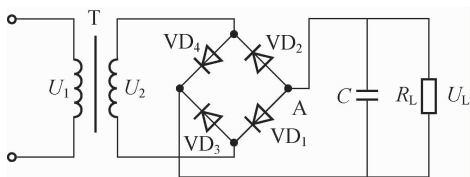


图 1-31 桥式整流滤波电路

## 实训

## 整流滤波电路的测试

## 一、实验目的

- (1) 了解单相桥式整流电路的作用。
- (2) 了解电容滤波电路的作用。

## 二、实验仪器与器材

自耦变压器、示波器、万用表、万能实验电路板(元器件品种和数量按表 1-3 选用)。

表 1-3 元件表

编号	VD <sub>1</sub> ~VD <sub>4</sub>	R <sub>L1</sub>	R <sub>L2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	T
名称	二极管	电阻	电阻	电解电容	电解电容	自耦变压器
参数	2CZ53A	200 Ω	1 kΩ	47 μF/25 V	1 000 μF/25 V	220 V/12 V(5 V·A)

## 三、实验内容与步骤

- (1) 用万用表检查元器件,确保质量完好。
- (2) 在万能实验电路板(或其他电路板)上连接如图 1-32 所示电路。

**注意:**二极管的正、负极不能接反;若某个二极管接反可能烧坏二极管或变压器;接入电解电容时极性不能接反,在合理选择电容量的同时,还要选择合适的耐压值。

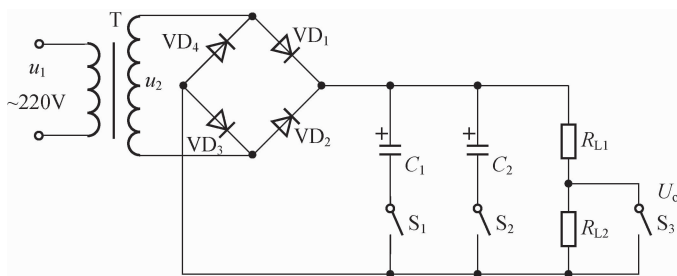


图 1-32 单相桥式整流电容滤波电路

- (3) 桥式整流电路实验。

① 桥式整流电路:断开开关 S<sub>1</sub> 和 S<sub>2</sub>,即电路不接入滤波电容时的电路。

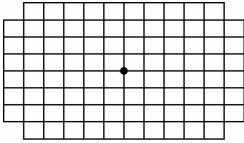
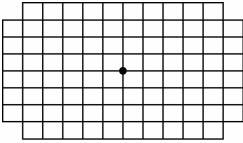
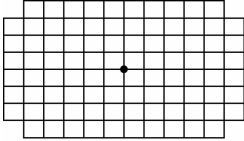
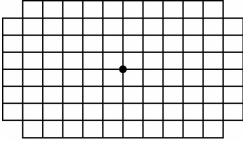
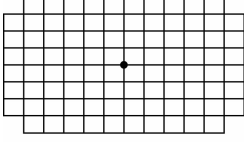
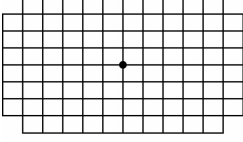
②开关  $S_3$  控制负载电阻的大小。闭合开关  $S_3$ , 用示波器观察变压器二次侧交流电压  $u_2$  和整流电路输出脉动直流电压  $U_o$  的波形, 并将波形记录于表 1-4 中。若使用双踪示波器观察, 要注意  $u_2$  和  $U_o$  波形的相位关系。

③用万用表的交流电压挡测量  $u_2$  的有效值  $U_2$ , 用直流电压挡测量  $U_o$ , 并将数据记录于表 1-4 中。

④断开开关  $S_3$ , 负载电阻增大。重复上述①~③过程, 并将波形和测量数据记录于表 1-4 中。

⑤桥式整流电路故障观察。将整流电路中任意 1 只二极管开路, 观察故障现象, 并记录在表 1-4 中。

表 1-4 整流电路实测数据

负载电阻 $R_L$	滤波电容 $C$	交流输入电压 $u_2$ 波形	整流输出电压 $U_o$ 波形	输出电压 $U_o$
闭合 $S_3$	$S_1, S_2$ 断开	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	
断开 $S_3$	$S_1, S_2$ 断开	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	
断开 $S_3$ , 断开一只二极管	$S_1, S_2$ 断开	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	 $t/\text{div} =$ $V/\text{div} =$	

#### (4) 电容滤波电路实验。

①桥式整流电容滤波电路: 闭合开关  $S_1$  和  $S_2$  时, 即电路接入滤波电容时的电路。

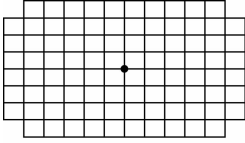
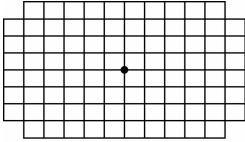
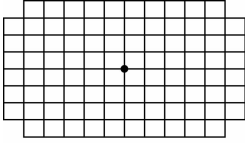
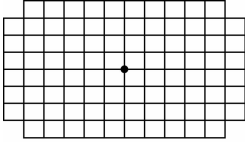
②为便于观察电容滤波作用和不同容量电容滤波效果, 先闭合开关  $S_1$ , 断开开关  $S_2$ , 用示波器观察变压器二次侧交流电压  $u_2$  和桥式整流电容滤波电路输出电压  $U_o$  的波形, 并将波形记录于表 1-5 中。

③用万用表的交流电压挡测量  $u_2$  的有效值  $U_2$ , 用直流电压挡测量  $U_o$ , 并将数据记录于表 1-5 中。

④闭合开关  $S_2$  ( $S_1$  仍然保持闭合), 增大滤波电容。重复上述②~③过程, 将波形和测

量数据记录于表 1-5 中。

表 1-5 桥式整流滤波电路实测数据

交流输入电压 $u_2$ 波形	整流滤波输出电压 $U_o$ 波形	输出电压 $U_o$
 <p><math>t/\text{div} =</math>                  <math>V/\text{div} =</math></p>	<p><math>S_1</math> 闭合, <math>S_2</math> 断开(接入 <math>C_1</math>, 未接 <math>C_2</math>)</p>  <p><math>t/\text{div} =</math>                  <math>V/\text{div} =</math></p>	
 <p><math>t/\text{div} =</math>                  <math>V/\text{div} =</math></p>	<p><math>S_1</math>、<math>S_2</math> 闭合, 接入 <math>C_1</math>、<math>C_2</math></p>  <p><math>t/\text{div} =</math>                  <math>V/\text{div} =</math></p>	

#### 四、收获与启迪

- (1) 桥式整流电路中任意 1 个二极管接反, 会产生什么后果? 为什么?
- (2) 桥式整流电路中任意 1 个二极管开路, 整流电路是否还有输出电压? 为什么?
- (3) 滤波电容的大小与滤波效果之间有什么关系?

★ 测试题



选择题

★ 测试题



判断题



