

# 第 1 篇

## 模拟电子技术基础实验

### 实验 1 常用电子元件的测量

#### 一、实验目的

- ① 学会用万用表判别晶体二极管的极性和三极管的管脚。
- ② 学会用万用表判别晶体二极管和三极管的质量。
- ③ 学会从颜色上识别色环电阻的阻值及阻值的误差。

#### 二、实验原理

##### 1. 万用表测试二极管的原理

晶体二极管内部实质上是一个 PN 结。当外加正向电压，即 P 端电位高于 N 端电位，二极管导通，呈低电阻；当外加反向电压，即 N 端电位高于 P 端电位，二极管截止，呈高电阻。因此，可用万用表的电阻挡辨别二极管的极性和判别其质量的好坏。图 1.1.1 所示为万用表电阻挡的等效测试电路。由图可知，表外电路的电流方向从万用电表负端 (-) 流向正端 (+)，即万用电表处于电阻挡时，其 (-) 端为内电源的正极，(+) 端为内电源的负极。 $R_0$  是电阻挡表面刻度中心阻值。 $n$  是电阻挡旋钮所指倍率。

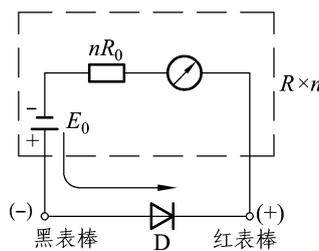


图 1.1.1 万用电表电阻挡等效测试电路

由等效电路图可计算出电阻挡在  $n$  倍率下输出的短路电流值。测试时，由指针偏转角占全量程刻度的百分比  $\theta$  (可通过指针所处直流电压刻度位置估算) 估算流经被测元器件的电流值。可用下式计算：

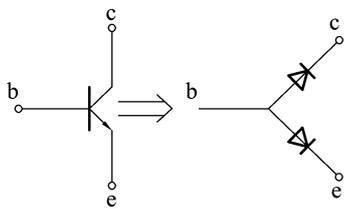
$$I = \theta \frac{E_0}{nR_0} \quad (1.1)$$

在测试小功率二极管时一般用  $R \times 100 \Omega$  或  $R \times 1 \text{ k}\Omega$  挡，以避免损坏管子。

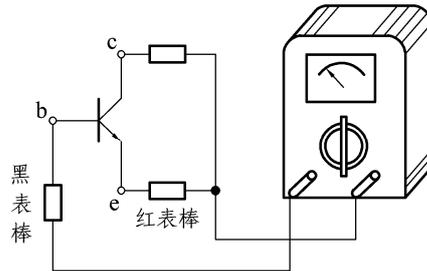
## 2. 万用表测试三极管的原理

### (1) 判别基极和管型

三极管内部有 2 个 PN 结，即集电结和发射结。图 1.1.2 (a) 所示为 NPN 型三极管。与二极管相似，三极管内的 PN 结同样具有单向导电特性，因此可用万用表电阻挡判别出基极 b 和管型。例如，测 NPN 型三极管，若用黑表棒接基极 b，用红表棒分别搭试集电极 c 和发射极 e，则测得阻值均较小；表棒位置对换后，测得电阻均较大。但在测试时电极和管型未知，因此对 3 个电极脚要调换测试，直到符合上述测量结果为止。然后，根据在公共端电极上表棒所代表的电源极性，可判断出基极 b 和管型，如图 1.1.2 (b) 所示。



(a) NPN 型三极管内部 PN 结



(b) 判别三极管电极

图 1.1.2 用万用表判别三极管基极

### (2) 判别集电极和发射极

这可根据三极管的电流放大作用进行判别。图 1.1.3 所示的线路，当未接上  $R_b$  时，无  $I_B$ ，则  $I_C = I_{CEO}$  很小，测得 c, e 间电阻大；当接上  $R_b$  时，则有  $I_B$ ，而  $I_C = \beta I_B + I_{CEO}$ ，因此， $I_C$  显然要增大，测得 c, e 间电阻比未接  $R_b$  时小。如果 c, e 调换，三极管成反向运用，则  $\beta$  小，无论  $R_b$  接与不接 c, e 间电阻均较大，因此可以判断出 c, e 极。例如，测的管型是 NPN 型，符合  $\beta$  大的情况下，则与黑表棒相接的是集电极 c。

### (3) 反向穿透电流 $I_{CEO}$ 的检查

$I_{CEO}$  是衡量三极管质量的一个重要指标，要求越小越好。按产品指标是在  $U_{CE}$  为某定值下测  $I_{CEO}$ ，因此用万用表电阻挡测试时，仅为一参考值。测试方法仍如图 1.1.3 所示，此时基极应开路，根据指针偏转角的百分比  $\theta$ ，由式 (1.1) 可估算出  $I_{CEO}$  的大小。

### (4) 共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta} (h_{EF})$ 性能测试

测试方法与判别 c, e 极方法相似。由三极管电流放大原理可知，在接  $R_b$  时测得阻值比未

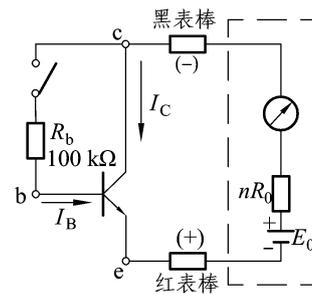


图 1.1.3 用万用表判别三极管 c, e 极

接  $R_b$  时小, 即  $\theta$  越大, 表明三极管的电流放大系数越大。

在掌握上述测试方法后, 即可判别二极管和三极管的 PN 结是否损坏, 是开路还是短路。这是在实用中判断管子是否良好所经常采用的简便方法。

### 3. 从颜色上识别色环电阻的阻值及阻值的误差

用色环表示电阻的阻值和误差, 电阻表面色环的不同颜色分别代表 0~9 十个数字, 如下所示: 黑—0, 棕—1, 红—2, 橙—3, 黄—4, 绿—5, 蓝—6, 紫—7, 灰—8, 白—9。金色环表示误差为 I 级, 即  $\pm 5\%$ ; 银色环表示误差为 II 级, 即  $\pm 10\%$ ; 无色 (即不标金、银环) 表示误差为 III 级, 即  $\pm 20\%$ 。

例如, 如图 1.1.4 所示, 第 1 环为红色, 表示“2”; 第 2 环为紫色, 表示“7”; 第 3 环代表  $10$  的  $n$  次方, 为黄色, 则表示  $10^4$ ; 第 4 环为银色, 表示 II 级误差, 为  $\pm 10\%$ ; 故该电阻阻值为  $270 \text{ k}\Omega$ 。

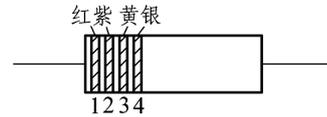


图 1.1.4 用色环表示的电阻

$2.7 \text{ k}\Omega$  应表示为: 第 1 环用红色 (2), 第 2 环用紫色 (7), 第 3 环用红色 (2)。

掌握了以上这些规律就能很方便地识别色环电阻的阻值及误差了。

## 三、实验设备和器件

万用电表 1 只; 2AP 型、2CP 型二极管各 1 只; 硅、锗材料的 NPN 型和 PNP 型三极管各 1 只; 不同阻值的色环电阻 3~5 只。

## 四、实验内容

### (1) 测试二极管的正、负极性和正反向电阻

用万用电表电阻挡 ( $R \times 100 \Omega$  或  $R \times 1 \text{ k}\Omega$  挡) 判别二极管的正、负极, 正、反向电阻值。

### (2) 判别三极管的管脚和管型 (NPN 型和 PNP 型, 硅材料或者锗材料)

① 用万用电表电阻挡 ( $R \times 100 \Omega$  或  $R \times 1 \text{ k}\Omega$  挡) 先判别出基极 b 和管型。

② 判别集电极 c 和发射极 e, 测定  $I_{CEO}$  和  $\bar{\beta}$  的大小。

### (3) 识别色环电阻的阻值

从颜色上识别色环电阻的阻值, 并用万用电表电阻挡验证。

## 五、预习要求

① 预习 PN 结外加正、反向电压时的工作原理和三极管电流放大原理。

② 能否用双手将各表棒与管脚捏住进行测量? 为什么?

③ 为何不能用  $R \times 1 \text{ k}\Omega$  或  $R \times 100 \Omega$  挡测试小功率管?

## 六、思考题

① 能否用万用电表测量大功率管? 测量时用哪一档较为合理? 为什么?

② 为什么用万用电表的不同电阻挡测二极管的正向 (或反向) 电阻值时, 测得的阻值不同?

## 七、实验报告要求

整理所有实验数据。

## 实验 2 单相桥式整流和滤波电路

### 一、实验目的

- ① 掌握单相桥式整流电路的测试方法，分析电容滤波和  $\pi$  型  $RC$  滤波元件参数对输出直流电压和纹波电压的影响。
- ② 掌握桥式整流电容滤波电路的外特性的测定方法。
- ③ 观察整流和滤波电路中电流和输出电压的波形。

### 二、实验原理

#### 1. 整流电路

整流是把交流电转变为直流电的过程，利用二极管的单向导电特性可实现这个过程。整流电路一般可分为半波、全波和桥式整流电路。

图 1.2.1 所示为桥式整流和滤波电路，其中  $D_1 \sim D_4$  为 2CP22 或 2DP3C。

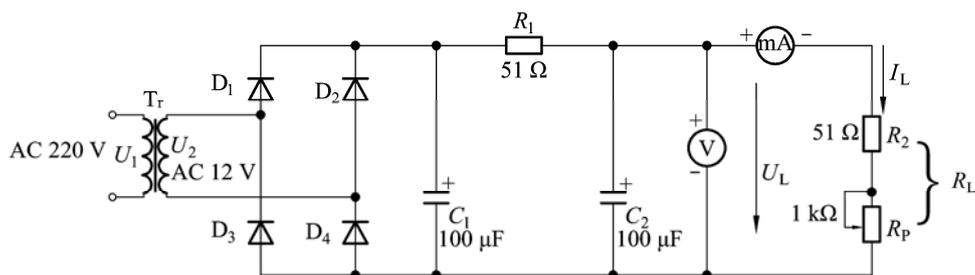


图 1.2.1 单相桥式整流滤波实验电路

对于单相桥式整流电路，输出直流平均电压为

$$U_L = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.9U_2$$

其中， $U_2$  为电源变压器的次级电压有效值。但实际上由于整流电路具有内阻，故  $U_L$  常小于上述表达式计算出的值。

#### 2. 滤波电路

为了使整流后的电压波形平滑，减少其纹波成分，必须在整流电路后面加滤波电路。滤波电路形式很多，对于负载电流不太大的情况，常用电容滤波或  $\pi$  型  $RC$  滤波电路，如图 1.2.1 所示。

在整流电路内阻不太大和负载电阻  $R_L \geq 10 \frac{1}{\omega C}$  ( $\omega$  为电源角频率) 的情况下, 对于全波或桥式整流电容滤波电路, 输出直流电压为

$$U_L \approx 1.2U_2$$

$R_L$  和  $C$  越大, 表明放电时间常数  $\tau = R_L C$  越大, 则  $U_L$  值越高, 纹波成分越少。

对于  $\pi$  型  $RC$  滤波电路, 输出直流电压为

$$U_L = U_{C_1} \frac{R_L}{R_1 + R_L}$$

$U_{C_1}$  为滤波电容  $C_1$  上的直流电压。这种滤波电路具有更小的纹波电压。

为了比较各种滤波电路及元件参数对纹波电压的影响, 可用示波器来观察其纹波波形的峰值大小。

### 3. 外特性的研究

外特性是指输出直流电压  $U_L$  与输出负载电流  $I_L$  的函数关系。当负载越重, 则放电时间常数  $\tau = R_L C$  越小, 使  $U_L$  下跌越快。

## 三、实验设备与器件

示波器; 万用表; 直流毫安表(0~100 mA~200 mA); 整流二极管(2CP22×4 或 2DP3C×4), 电阻、电容各 2 只。

## 四、实验内容

① 测量单相桥式整流电路的输出电压, 观察输出波形。

按图 1.2.1 连接桥式整流电路, 但不接  $R_1$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ 。接通电源后, 调节负载电阻  $R_P$ , 测量在不同负载电流  $I_L$  下的输出直流平均电压  $U_L$ , 并记录于表 1.2.1 中, 同时观察并记录当  $I_L=50$  mA 时的输出电压波形。

② 测量单相桥式整流电容滤波和  $\pi$  型  $RC$  滤波电路的输出直流电压  $U_L$ , 观察输出电压波形。

表 1.2.1 整流及滤波电路实验数据

序号	$I_L$ /mA	0	10	20	30	40	50	理论估算	$I_L=50$ mA
	测试电路	输出电压 $U_L$ /V							输出纹波电压波形
1	桥式整流								
2	桥式整流 $C_1$ 滤波								
3	桥式整流 $C_1 C_2$ 滤波								
4	桥式整流 $\pi$ 型 $RC$ 滤波								

根据实验要求, 将图 1.2.1 分别接成桥式整流电容滤波和  $\pi$  型  $RC$  滤波电路。接通电源后, 按表 1.2.1 所列的负载电流  $I_L$  值调节  $R_P$ , 测量与  $I_L$  相对应的输出电压  $U_L$  值, 记录于表 1.2.1 中。

当负载电流  $I_L$  为 50 mA 时, 观察并记录在各种不同滤波电路下的输出端纹波电压波形。

③ 用方格坐标纸绘制各整流和滤波电路的外特性  $U_L=f(I_L)$  的函数曲线。

## 五、预习要求

① 复习桥式整流电路的工作原理。

② 复习电容滤波、 $\pi$  型滤波电路工作原理，分析滤波电路中流经二极管的电流波形和输出电压波形的形成原理。

③ 分析上述实验步骤如何迅速而又准确地完成。估算本实验整流电路和各种滤波电路输出电压值，记于表 1.2.1 中。

## 六、思考题

① 从实验的数据和纹波电压波形分析，哪些滤波效果较好？为什么？

② 纹波电压大小与什么因素有关？

## 七、实验报告要求

① 整理实验数据。

② 绘制桥式整流电容滤波和桥式整流  $\pi$  型  $RC$  滤波电路的外特性。

③ 回答思考题。

## 实验 3 单管低频放大器

### 一、实验目的

- ① 掌握静态工作点的测量和调试方法。
- ② 掌握放大器的电压放大倍数测试方法。
- ③ 研究静态工作点对输出波形失真和电压放大倍数的影响。
- ④ 了解放大器的输入电阻和输出电阻的测试方法。

### 二、实验原理

图 1.3.1 所示放大电路为分压式偏置电路，其静态工作点由  $U_B$  决定，因此调节  $R_P$  可改变放大器的静态工作点。由此可计算出  $I_C$ ,  $U_{CE}$  的静态参数：

$$I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_e}$$

$$U_{CE} \approx U_{CC} - I_C(R_c + R_e)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$U_{BE} = U_B - U_E = U_B - I_E R_e$$

如果静态工作点调得太高或者太低，当输入端加入正弦信号电压  $u_i$  时，则输出电压  $u_o$  将产生饱和或截止失真。

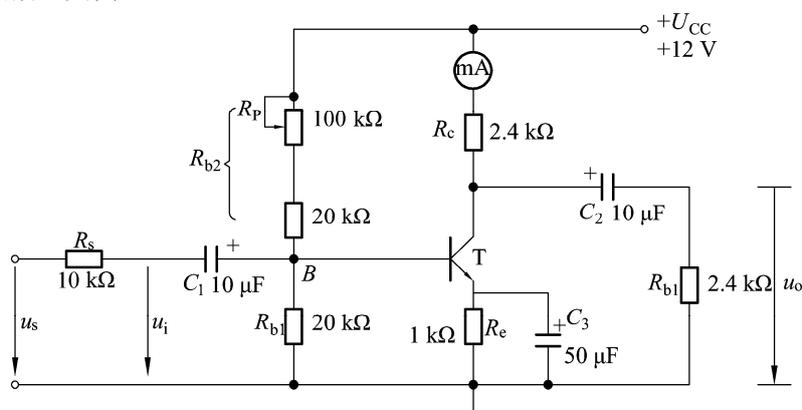


图 1.3.1 分压式偏置单管放大电路

测量电压放大倍数时，要求放大器输出为不失真的波形。根据图 1.3.2 所示放大器的微变等效电路，在不接负载  $R_L$  时的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\beta \frac{R_c}{r_{be}}$$

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_E}$$

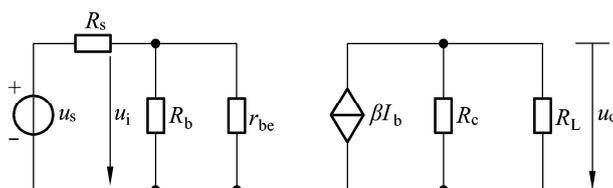


图 1.3.2 放大器微变等效电路

接上负载  $R_L$  时的电压放大倍数为

$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$$

其中

$$R'_L = \frac{R_c R_L}{R_c + R_L}$$

从  $A_u$  的表达式可看出,  $R_c$  或  $R_L$  变化都会影响放大器的电压放大倍数; 同时,  $A_u$  表达式中有一负号, 其意义是  $u_o$  与  $u_i$  始终反相。

### 三、实验设备与器件

+12 V 直流稳压电源; 函数信号发生器; 双踪示波器; 交流毫伏表; 直流电压表; 直流毫安表; 频率计; 万用表; 晶体三极管 3DG6×1 ( $\beta=50\sim 100$ ) 或 9011×1, 电阻、电容若干。

### 四、实验内容

#### 1. 调整静态工作点

选取放大器静态工作点, 总的要求是信号工作在三极管输出特性的线性工作区, 失真要小, 噪声要低, 耗电要少。因此对输入微伏 ( $\mu\text{V}$ ) 和毫伏 ( $\text{mV}$ ) 级的中、低频小信号的前置放大器, 工作点  $I_C$  常取  $0.1\sim 0.5 \text{ mA}$ , 以减少噪声。对后级放大器,  $I_C$  可选取  $0.5\sim 5 \text{ mA}$  或根据外接交流负载时能获得最大不失真输出进行调试。而对于已定型线路, 则可根据已给定工作点调试。本实验要求按指定工作点和以最大不失真输出为依据调整工作点。

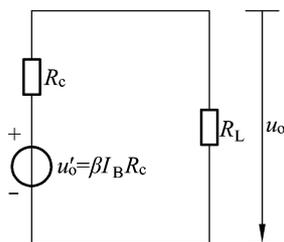


图 1.3.3 输出回路等效电路

调整工作点的步骤如下：

- ① 按  $I_C = 2 \text{ mA}$  调整，调节  $R_P$ ，按表 1.3.1 的要求进行测试，并作记录。

表 1.3.1 静态工作点测试值

测试条件	测试值				计算值			
	$U_C/\text{V}$	$U_B/\text{V}$	$U_E/\text{V}$	$I_B/\text{mA}$	$U_{CE}/\text{V}$	$U_{BE}/\text{V}$	$I_C/\text{mA}$	$\bar{\beta}$
$I_C=2 \text{ mA}$								

### 2. 测试电压放大倍数 $A_u$

要求输出端波形不失真，按表 1.3.2 所列测试条件进行测试。在输入端加频率为 1 kHz、 $u_i$  为 10~15 mV 的正弦信号。

表 1.3.2 电压放大倍数测试

测试条件		测量数据		由测试值计算		
$I_C$	$R_L$	$u_i/\text{mV}$	$u_o/\text{V}$	$A_u = \frac{u_o}{u_i}$	$r_{be}/\Omega$	理论计算
2 mA	$\infty$					$\dot{A}_u = -\beta \frac{R_c}{r_{be}}$
2 mA	接入					$\dot{A}_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$

### 3. 测量输入电阻 $R_i$

在输入端加频率为 1 kHz、 $u_s$  为 100~150 mV 的正弦信号，用示波器监视输出波形，要求不失真，测  $u_s$  和  $u_i$ ，并记于表 1.3.3 中。

表 1.3.3 输入电阻测试

测试条件	测试数据		由测试值计算	理论计算
$I_C$	$u_s/\text{mV}$	$u_i/\text{mV}$	$R_i = \frac{u_i}{u_s - u_i} R_s$	$R_i \approx r_{be}$
2 mA				

### 4. 测量输出电阻 $R_o$

在输入端加 1 kHz 的正弦信号，用示波器监视输出波形，要求不失真，分别测试不接入  $R_L$  和接入  $R_L$  时输出电压  $u_o$  和  $u_L$ ，并记于表 1.3.4 中。

表 1.3.4 输出电阻测试

测试条件	测试数据	由测试值计算	理论计算
------	------	--------	------