

情境描述

迎宾器又称感应门铃，安装在一些商场、店铺、饭店、办公室门口，宾客一进门就报出“你好，欢迎光临”等语音，不仅起到了礼貌问候的作用，而且起到了提醒店员有人进店，准备迎宾的作用。

迎宾器是利用三极管放大电路制作而成的电子产品，三极管是非常重要的—种半导体器件，应用非常广泛。某学校电子专业为提升学生的专业技能，激发学生的学习兴趣，打算利用实训课组织—次安装、调试迎宾器大赛，并选出优秀的作品在全校进行展览。

相关知识

一、三极管认知及检测

1. 认识三极管

1) 常见三极管外形（图 3.1）

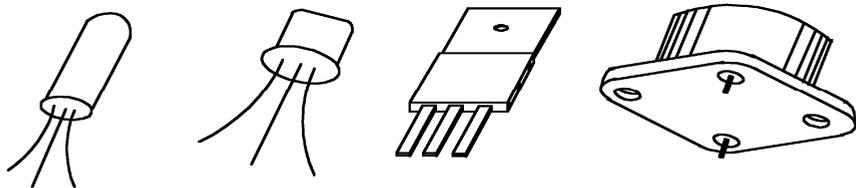


图 3.1 常见三极管外形

2) 三极管的结构和符号

三极管是在—块半导体基片上制作两个相距很近的 PN 结，两个 PN 结把整块半导体基片分成三部分，中间部分是基区，两侧分别是发射区和集电区，排列方式有 PNP 和 NPN 两种。其结构及电路符号如图 3.2 所示，文字符号为“VT”。从三个区分别引出对应的电极，分别称为集电极 c、基极 b、发射极 e。发射区与基区之间的 PN 结称为发射结，集电区与基区之间的 PN 结称为集电结。电路符号中对应的箭头表示发射结加正偏电压时的电流方向。

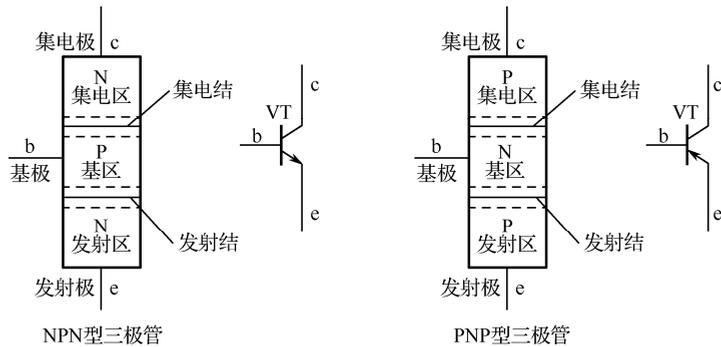


图 3.2 三极管的结构及电路符号

3) 三极管的分类

三极管的种类很多，分类方法也有多种，见表 3.1。

表 3.1 三极管的分类

分类方法	种类	应用
按极性分	NPN 型三极管	目前常用的三极管，电流从集电极流向发射极
	PNP 型三极管	电流从发射极流向集电极
按材料分	硅三极管	热稳定性好，是常用的三极管
	锗三极管	反向电流大，受温度影响较大，热稳定性差
按工作频率分	低频三极管	工作频率比较低，用于直流放大、音频放大电路
	高频三极管	工作频率比较高，用于高频放大电路
按功率分	小功率三极管	输出功率小，用于功率放大器末级
	大功率三极管	输出功率较大，用于功率放大器末级（输出级）
按用途分	放大管	应用在模拟电子电路中
	开关管	应用在数字电子电路中

4) 三极管的命名标准

三极管种类很多，其型号的命名方法各个国家也不尽相同。国产三极管的型号一般由五部分组成，具体标准见表 3.2。

表 3.2 国产三极管的命名标准

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分	
用数字表示 器件电极数目		用字母表示三极管 材料和极性		用字母表示 三极管类型		用数字 表示序号	用字母表 示规格号	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	反映参数的 差别		
3	三极管	A	PNP 型锗材料	X	低频小功率			
		B	NPN 型锗材料	G	高频小功率			
		C	PNP 型硅材料	D	低频大功率			
		D	NPN 型硅材料	A	高频大功率			
		E	化合物材料					

5) 三极管的电流放大特性

三极管最基本、最重要的特性是电流放大。也就是说，三极管能以基极电流微小的变化量控制集电极电流较大的变化量。要实现这一功能，必须给三极管的发射结加正向偏置电压，给集电结加反向偏置电压，三极管供电示意图如图 3.3 所示。

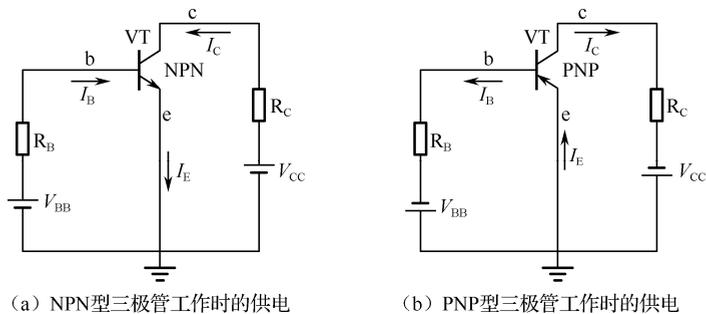


图 3.3 三极管供电示意图

为了进一步了解三极管的电流放大作用，可以通过一个电流测试实验加以说明，实验电路如图 3.4 所示。

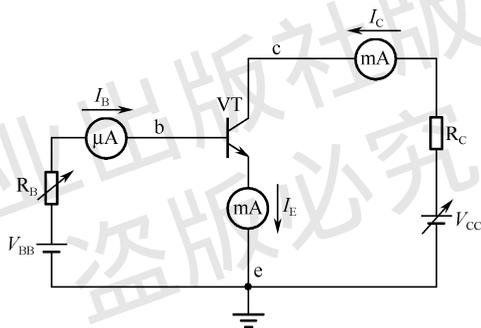


图 3.4 三极管电流测试实验电路

在该电路中，b、e 之间加电源电压 V_{BB} ，c、e 之间加电源电压 V_{CC} ，且 $V_{CC} > V_{BB}$ ，以满足发射结正偏、集电结反偏的要求。通过调节电位器 R_B 的阻值，可调节基极的偏置电压，从而调节基极电流 I_B 的大小。每取一个 I_B 值，从毫安表中可读取对应的集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E ，实验数据见表 3.3。

表 3.3 三极管三个电极对应电流值

I_B/mA	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
I_C/mA	0.56	1.14	1.74	2.33	2.91
I_E/mA	0.57	1.16	1.77	2.37	2.96

分析实验数据，可以得出以下两个重要结论。

集电极电流与基极电流之间的关系： $I_C = \beta I_B$ ，即三极管具有电流放大作用。

三个电极电流之间的关系： $I_E = I_B + I_C$ ，即发射极电流等于基极电流与集电极电流之和。

6) 三极管的特性曲线

三极管外部各极电压和各极电流的关系曲线称为三极管的特性曲线，又称伏安特性曲线。通常有输入特性曲线和输出特性曲线，可由晶体管特性图示仪直接测得，最常用的共发射极特性曲线可以用描点法绘出。

(1) 输入特性曲线。

在三极管共射极连接的情况下，当集电极与发射极之间的电压 u_{CE} 为定值时， u_{BE} 和 i_B 之间的关系曲线称为共射极输入特性曲线，如图 3.5 所示。

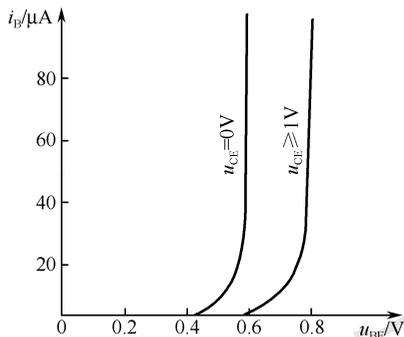


图 3.5 共射极输入特性曲线

三极管的输入特性曲线与二极管的正向特性曲线相似，当输入电压 u_{BE} 较小时，基极电流 i_B 也很小，通常近似为零。只有当发射结的正向电压 u_{BE} 大于死区电压（硅管约为 0.5V，锗管约为 0.2V）时才产生基极电流 i_B ，这时三极管处于正常放大状态，发射结两端电压为 u_{BE} （硅管约为 0.7V，锗管约为 0.3V）。

(2) 输出特性曲线。

输出特性曲线是指当基极电流 I_B 为某一定值时，集电极电流 I_C 与集电极电压 U_{CE} 之间的关系曲线。

输出特性曲线可分为截止区、饱和区、放大区三个区域，如图 3.6 所示。

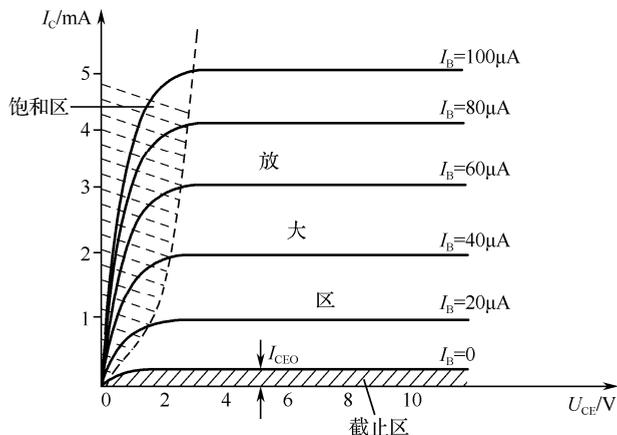


图 3.6 三极管的输出特性曲线

① 截止区：指 $I_B=0$ 曲线以下的区域。在此区域内，三极管的发射结和集电结都处于反向偏置状态，三极管失去了放大作用，集电极只有微小的穿透电流 I_{CEO} ，一般可忽略不计，

认为截止时 I_C 近似为零。

② 饱和区：在此区域内，不同 I_B 值的输出特性曲线几乎重合在一起。也就是说， U_{CE} 较小时，虽然 I_C 增加，但 I_C 增加不大，即 I_B 失去了对 I_C 的控制能力。这种情况称为三极管饱和。饱和时，三极管的发射结和集电结都处于正向偏置状态。三极管集电极与发射极间的电压称为集-射饱和压降，用 V_{CES} 表示。 V_{CES} 很小，通常中小功率硅管的 V_{CES} 约为 0.3V，锗管约为 0.1V。

③ 放大区：在此区域内，三极管的发射结处于正向偏置状态，集电结处于反向偏置状态。特性曲线近似于一簇平行等距的水平线， I_C 的变化量与 I_B 的变化量基本保持线性关系，即 $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ ，且 $\Delta I_C \gg \Delta I_B$ 。也就是说，在此区域内，三极管具有电流放大作用。此外，集电极电压对集电极电流的控制作用也很弱，当 $U_{CE} > 1V$ 时，继续增大 U_{CE} ， I_C 几乎不再增大。此时，若 I_B 不变，则三极管可以看成是一个恒流源。

从上述分析可以看出，三极管工作在饱和或截止状态时，具有“开关”作用，可在数字电子电路中作为开关管使用；三极管工作在放大状态时，可用在模拟电子电路中起放大作用。

7) 三极管的主要参数

(1) 性能参数。

① 直流电流放大系数 h_{FE} ：三极管集电极电流与基极电流的比值，即 $h_{FE} = I_C / I_B$ ，反映三极管的直流电流放大能力。

② 交流电流放大系数 β ：三极管集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比，即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ ，反映三极管的交流电流放大能力。

③ 同一只三极管，在相同的工作条件下 $h_{FE} \approx \beta$ ，应用中不再区分，均用 β 来表示。选管时， β 值应恰当， β 值太小，放大作用差； β 值太大，性能不稳定。通常选用 β 值为 30~100 的管子。

④ 集电极与基极间的反向饱和电流 I_{CBO} ：发射极开路时，反向饱和电流 I_{CBO} 越小，集电结的单向导电性越好。

⑤ 集电极与发射极间的反向饱和电流 I_{CEO} ：基极开路时 ($I_B = 0$)，C、E 极间的反向电流。该电流看起来像是从集电极直接穿透三极管到达发射极的电流，故又称“穿透电流”。 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ ，它反映了三极管的稳定性。选管子时， I_{CEO} 越小，管子受温度影响越小，工作越稳定。

(2) 极限参数。

① 集电极最大允许电流 I_{CM} ：集电极电流过大时，三极管的 β 值要降低，一般规定 β 值下降到正常值的 2/3 时的集电极电流为集电极最大允许电流。使用时，一般 $I_C < I_{CM}$ ，否则管子易被烧毁。选管时， $I_{CM} \geq I_C$ 。

② 集电极与发射极间的反向击穿电压 $U_{(BR)CE0}$ ：基极开路时，加在 C、E 极间的最大允许电压。使用时，一般 $U_{CE} < U_{(BR)CE0}$ ，否则易造成管子被击穿。选管时， $U_{(BR)CE0} \geq U_{CE}$ 。

③ 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} ：集电极消耗功率的最大限额。根据三极管的最高温度和散热条件来规定最大允许耗散功率 P_{CM} ，要求 $P_{CM} \geq I_C U_{CE}$ 。 P_{CM} 的大小与环境温度有密切关系，环境温度升高， P_{CM} 减小。对于大功率管，常在管子上加散热器或散热片，以降低环境温度，从而增大 P_{CM} 。工作时， $I_C U_{CE} < P_{CM}$ ，否则管子会因过热而损坏。选管时， $P_{CM} \geq I_C U_{CE}$ 。

2. 检测三极管

1) 用指针式万用表检测三极管

(1) 判断基极 B 和管子类型。

选择万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡。用黑表笔接一引脚（假定其为基极 B），红表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值。

- ① 如两个阻值均为小数值，则管子为 NPN 管，黑表笔接触的为基极 B，假定正确。
- ② 如两个阻值均为无穷大，则管子为 PNP 管，黑表笔接触的为基极 B，假定正确。
- ③ 如一个阻值为无穷大，另一个为小数值，则假定错误，须重新假定，直到找到基极为止。

(2) 判断集电极 C 和发射极 E。

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡（以 NPN 管为例），红表笔接基极以外的引脚，左手拇指与中指将黑表笔与基极以外的另一引脚捏在一起，同时用左手食指触摸余下的引脚，这时表针应向右摆动。将基极以外的两引脚对调后再测一次。两次测量中，表针摆动幅度较大的那一次，黑表笔所接为集电极，红表笔所接为发射极。表针摆动幅度越大，说明被测三极管的 β 值越大。

2) 用数字式万用表检测三极管

利用数字式万用表不仅可以判别三极管引脚极性、测量管子的共发射极电流放大系数 h_{FE} ，还可以鉴别硅管与锗管。由于数字式万用表电阻挡的测试电流很小，所以不适于检测三极管，应使用二极管挡或 h_{FE} 挡进行测试。

(1) 判断三极管基极 B。

将数字式万用表置于二极管挡，红表笔任接某个引脚，用黑表笔依次接触另外两个引脚，如果两次显示值均小于 1V 或都显示溢出符号“OL”或“1”，则红表笔所接的引脚就是基极 B。如果在两次测试中，一次显示值小于 1V，另一次显示溢出符号“OL”或“1”（视不同的数字式万用表而定），则表明红表笔接的引脚不是基极 B，应更换其他引脚重新测量，直到找出基极 B 为止。

(2) 判断集电极 C 和发射极 E。

基极 B 确定后，用红表笔接触基极，黑表笔依次接触另外两个引脚，如果显示屏上的数值为 0.600~0.800V，则所测三极管属于硅 NPN 型中、小功率管。其中，显示数值较大的一次，黑表笔所接引脚为发射极 E。如果显示屏上的数值为 0.400~0.600V，则所测三极管属于硅 NPN 型大功率管。其中，显示数值大的一次，黑表笔所接的引脚为发射极 E。

用红表笔接基极 B，黑表笔先后接触另外两个引脚，若两次都显示溢出符号“OL”或“1”，则调换表笔测量，即黑表笔接触基极 B，红表笔接触另外两个引脚，若显示数值都大于 0.400V，则表明所测三极管属于硅 PNP 型，此时数值大的那次，红表笔所接的引脚为发射极 E。

注意：用数字式万用表测量时，若显示屏上的显示数值都小于 0.400V，则表明所测三极管属于锗管。

二、共发射极放大电路

放大电路就是利用三极管的电流放大特性，把微弱的电信号放大成较强电信号的电路。放大电路是使用最广泛的电路之一，也是构成各种电路的基本单元电路。放大电路的种类很多，其中最基本的放大电路是由单个三极管组成的放大电路。

1. 电路构成及各元件作用

1) 共发射极放大电路的组成

共发射极放大电路如图 3.7 所示。由于该电路以三极管发射极作为交流输入、输出回路的公共端，因此称为共发射极放大电路，简称共射放大电路。

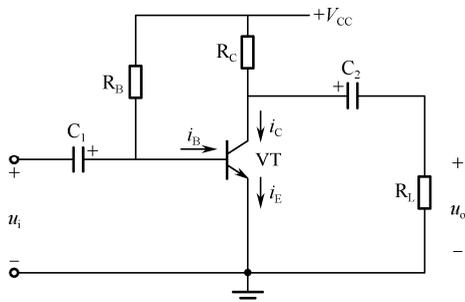


图 3.7 共发射极放大电路

2) 各元件作用

各元件作用见表 3.4。

表 3.4 共发射极放大电路中各元件作用

序号	名称	作用
1	电源 V_{CC}	放大电路的能源，为输出信号提供能量，并保证发射结处于正向偏置状态、集电结处于反向偏置状态，使三极管工作在放大区。 V_{CC} 取值一般为几伏到几十伏
2	三极管	放大电路的核心元件。利用三极管在放大区的电流控制作用，即 $i_C = \beta i_B$ 的电流放大作用，将微弱的电信号进行放大
3	集电极电阻 R_C	三极管的集电极负载电阻，它将集电极电流的变化转换为电压的变化，实现电路的电压放大作用，阻值一般为几千欧到几十千欧
4	基极电阻 R_B	设置静态工作点，保证三极管工作在放大状态，阻值一般取几十千欧到几百千欧
5	耦合电容 C_1 、 C_2	起隔直流、通交流的作用。在信号频率范围内，认为容抗近似为零，所以分析电路时，在直流通路中将电容视为开路，在交流通路中将电容视为短路。一般采用十几微法到几十微法的有极性的电解电容

3) 放大器中电压、电流符号及正方向的规定

从图 3.7 中可以看出，在放大电路中，既有输入信号源 u_i 产生的交流量，又有直流电源 V_{CC} 产生的直流量。因此，为避免分析电路时出现符号上的混淆，特作如下规定。

(1) 电压、电流符号规定见表 3.5。

表 3.5 电压、电流符号规定

物理量	表示符号
直流量	大写字母带大写下标，如 U_{BE} 、 U_{CE} 、 I_B 、 I_C
交流量	小写字母带小写下标，如 i_c 、 i_b 、 v_{be}
交直流叠加量	小写字母带大写下标，如 i_B 、 i_C 、 i_E 、 u_{BE} 、 u_{CE}
交流分量的有效值	大写字母带小写下标，如 I_b 、 I_c 、 I_e 、 U_{be} 、 U_{ce}

(2) 电压、电流的正方向。

电压用+、-表示，电流用箭头表示。

4) 静态工作点

在基本放大电路中交流量、直流量共存，工作状态有静态和动态两种。静态是指没有交流信号输入（即输入端短路），电路中只有直流电源单独作用的直流工作状态。动态是指有交流信号输入，电路中的电压、电流随输入信号做相应变化的状态。放大电路在静态时，三极管各极的电压、电流（ U_{BE} 、 U_{CE} 、 I_B 、 I_C ）均为直流量，它们在输入、输出特性曲线上可以确定为一个如图 3.8 所示的坐标点 Q ，该点称为静态工作点。 Q 点处的直流电流、电压一般用 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ} 、 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} 表示。

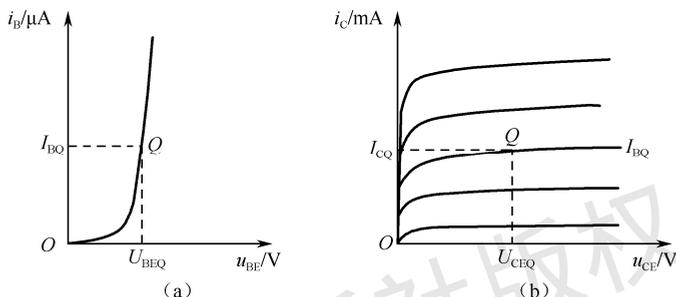


图 3.8 特性曲线上的静态工作点

假设共发射极放大电路的基极偏置电阻 R_B 开路， $I_B=0$ ，则静态工作点 Q 就在如图 3.8 (b) 所示的坐标原点上。如果这时输入正弦波信号 u_i ，则在 u_i 的正半周期，发射结正偏，当正向电压大于三极管的死区电压时，产生基极电流 i_B ；在 u_i 的负半周期，发射结反偏，基极电流 $i_B=0$ 。这时会出现失真，波形如图 3.9 (a) 所示。这种由于三极管非线性造成的失真称为放大电路的非线性失真。

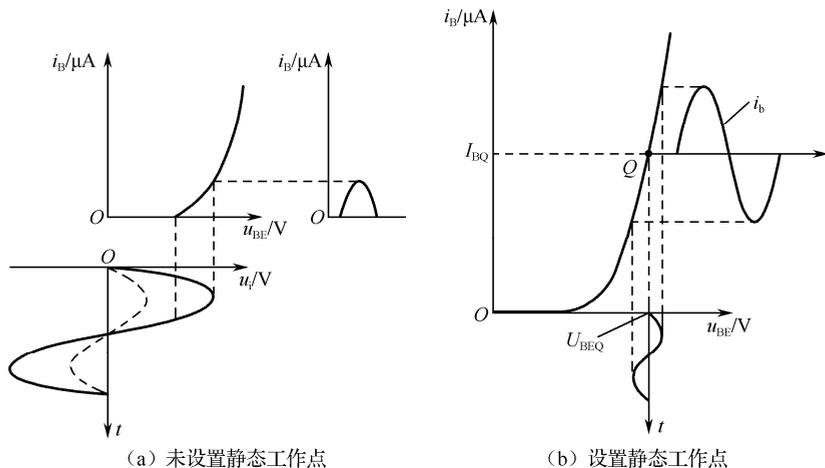


图 3.9 未设置静态工作点时产生失真

因此，为了避免放大电路的非线性失真，必须设置合适的静态工作点，这样才能保证放大电路不失真地放大输入信号，波形如图 3.9 (b) 所示。

5) 共发射极放大电路的工作原理

放大电路在未加输入信号时 ($u_i=0$), 三极管各电极上只有直流电压和直流电流 U_{BE} 、 U_{CE} 、 I_B 、 I_C , 此时 $u_o=0$, 共发射极放大电路中各处电压、电流如图 3.10 所示。各电流和电压只含有直流分量, 即 $u_{BE}=U_{BE}$, $i_B=I_B$, $i_C=I_C$, $u_{CE}=U_{CE}$ 。

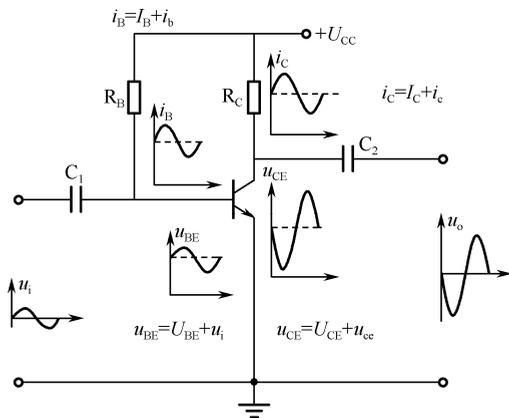


图 3.10 共发射极放大电路中各处电压、电流

从图 3.10 中可见, 当输入信号 u_i 加到三极管的基极时, 引起基极电流 i_B 在原来直流 I_B 的基础上进行相应的变化。由于 u_i 是正弦信号, 因而 i_B 也相应地以正弦规律变化, 这时的 i_B 实际上是直流分量 I_B 和交流分量 i_b 的叠加。同时, i_B 的变化使集电极电流 i_C 也发生变化, 因此, i_C 也是直流分量 I_C 和交流分量 i_c 的叠加, 但 i_C 要比 i_B 大得多 (是 i_B 的 β 倍)。电流 i_C 在电阻 R_C 上产生压降, 集电极电压 $u_{CE}=U_{CC}-i_C R_C$, 这个集电极电压 u_{CE} 也是由直流分量和交流分量两部分叠加的。因此, 各电流和电压都含有直流分量和交流分量。

$$u_{BE}=U_{BE}+u_i$$

$$i_B=I_B+i_b$$

$$i_C=I_C+i_c$$

$$u_{CE}=U_{CC}-i_C R_C=U_{CE}+u_{ce}=-i_c R_C$$

从 u_{CE} 表达式可知, 当 i_C 增大时, u_{CE} 减小, 反之亦然, 即 u_{CE} 和 i_C 相位相反。由于 C_2 的隔直流作用, 放大电路的输出电压 u_o 只有 u_{CE} 中的交流分量。

放大电路输出电压 u_o 的幅值比输入电压 u_i 大得多, 说明共发射极放大电路具有电压放大作用; 同时, 输出电压 u_o 的相位与输入电压 u_i 正好相反, 说明共发射极放大电路具有反相作用。

2. 静态分析

1) 静态

静态是指无交流信号输入时, 电路中的电流、电压都不变的状态。静态工作点 Q 是指三极管放大电路处于静态时, 各极的电流和电压值 (主要指 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ})。静态分析主要是借助放大电路的直流通路确定放大电路中的静态值 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 。

2) 直流通路

直流通路是指在 $u_i=0$ 时 (即输入端短路), 放大电路中只有直流电源 U_{CC} 单独作用的情

况下直流电流流经的通路。画直流通路时可将耦合电容视为开路，因此把电容支路断开即可，共发射极放大电路及其对应的直流通路如图 3.11 所示。

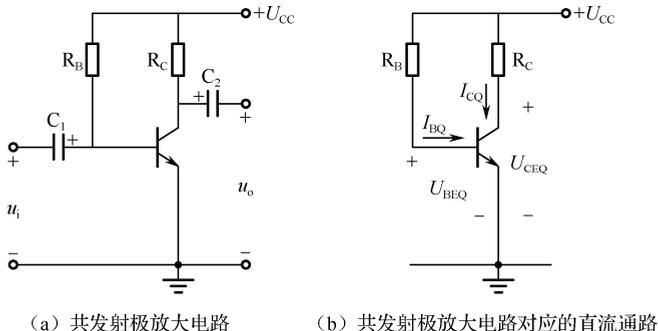


图 3.11 共发射极放大电路及其对应的直流通路

3) 确定静态值

根据图 3.11 (b) 所示的共发射极放大电路的直流通路，对于基极回路可得到：

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}$$

由于 $U_{BEQ} \ll U_{CC}$ ，可忽略不计，因此上式可写成：

$$I_{BQ} \approx \frac{U_{CC}}{R_B}$$

根据电流放大作用，有

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$$

根据图 3.11 (b) 所示的共发射极放大电路的直流通路，对于集电极回路可得到：

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} R_C$$

3. 动态分析

1) 动态

动态是指有交流信号输入，电路中的电压、电流随输入信号做相应变化的状态。动态分析是借助放大电路的交流通路估算放大电路的主要性能指标，即输入电阻、输出电阻和电压放大倍数等。

2) 交流通路

交流通路是指交流信号流经的通路。画交流通路时把电容和直流电源都视为交流短路。共发射极放大电路及其对应的交流通路如图 3.12 所示。

3) 主要性能指标估算

(1) 三极管输入电阻 r_{be} 的估算。

三极管的发射结正向导通时，b、e 之间存在一个等效电阻，称为三极管的输入电阻，用 r_{be} 表示。小功率三极管采用共发射极接法时， r_{be} 常用下式估算：

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}}$$

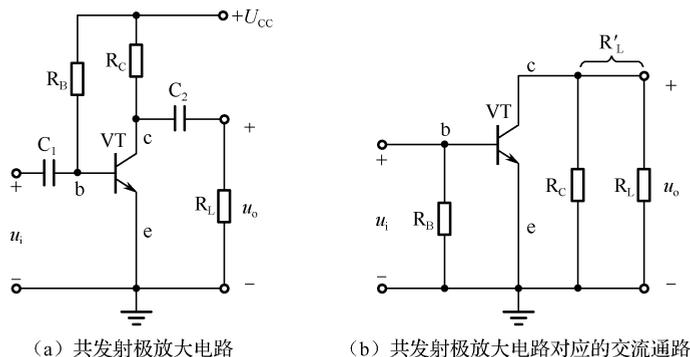


图 3.12 共发射极放大电路及其对应的交流通路

(2) 放大电路输入电阻 R_i 的估算。

从图 3.12 (b) 中可看出, 放大电路的输入电阻可等效为 r_{be} 与 R_B 的并联。一般有 $R_B \gg r_{be}$, 所以可得到以下估算公式:

$$R_i \approx r_{be}$$

(3) 放大电路输出电阻 R_o 的估算。

将图 3.12 (b) 所示交流通路的外接负载断开, 从放大电路的输出端看进去的等效电阻为 R_C 与输出电阻 r_{ce} 并联, 即

$$R_o = R_C // r_{ce}$$

因为 $r_{ce} \gg R_C$, 所以 $R_o \approx R_C$ 。

(4) 电压放大倍数的估算。

放大电路的电压放大倍数是指放大电路输出电压与输入电压的比值, 即

$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

由交流等效电路可知:

$$u_o = -i_c R'_L \quad u_i = i_b r_{be}$$

那么, 电压放大倍数为

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

其中

$$R'_L = R_C // R_L$$

例题 1 在图 3.13 所示的共发射极放大电路中, 设 $U_{CC}=12V$, $R_B=200k\Omega$, $R_C=2k\Omega$, $\beta=50$, $R_L=2k\Omega$, 试求静态工作点、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 及电压放大倍数 A_u 。

解: ① 估算静态工作点。

$$I_{BQ} \approx \frac{U_{CC}}{R_B} = \frac{12}{200 \times 10^3} = 0.06mA = 60\mu A$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} = 50 \times 0.06 = 3mA$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} R_C = 12 - 3 \times 2 = 6V$$

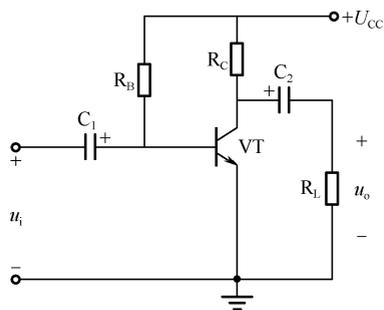


图 3.13 共发射极放大电路

② 估算性能指标。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 50) \frac{26}{3} = 742\Omega = 0.742\text{k}\Omega$$

$$R_i \approx r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 50) \frac{26}{3} = 742\Omega = 0.742\text{k}\Omega$$

$$R_o \approx R_C = 2\text{k}\Omega$$

$$R'_L = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} = 1\text{k}\Omega$$

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{50 \times 1}{0.742} \approx -67$$

三、分压式偏置放大电路

共发射极放大电路结构简单，静态工作点不够稳定，容易引起放大信号失真，为了保证放大电路在各种复杂情况下都能工作，常采用能稳定静态工作点的放大电路——分压式偏置放大电路。

1. 电路构成及各元件作用

1) 电路构成

分压式偏置放大电路如图 3.14 所示。

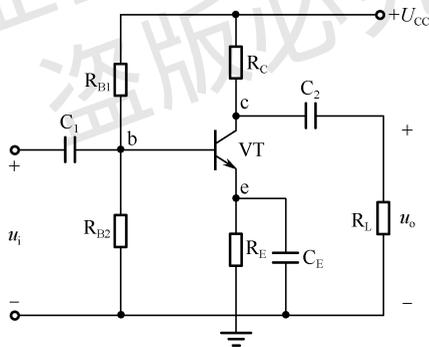


图 3.14 分压式偏置放大电路

2) 各元件作用

- ① 直流电源 U_{CC} ：其作用一是为电路提供能源，二是为电路提供工作电压。
- ② 三极管 VT：其作用是将微小的基极电流转换成较大的集电极电流，它是放大电路的核心元件。
- ③ 基极上、下偏置电阻 R_{B1} 、 R_{B2} ： U_{CC} 通过 R_{B1} 、 R_{B2} 分压后，为三极管 VT 提供稳定的静态工作电压 U_{BQ} 。
- ④ 集电极负载电阻 R_C ：其作用是将三极管的电流放大转换成电压放大。
- ⑤ 输入、输出耦合电容 C_1 、 C_2 ：其作用一是隔直流，二是通交流。
- ⑥ 发射极电阻 R_E ：其作用是稳定静态工作点。

⑦ 发射极旁路电容 C_E : C_E 容量较大, 对交流信号短路, 可消除 R_E 对电压放大倍数的影响。

3) 工作原理

为稳定静态工作点, 电路参数的选取应满足 $I_1=I_2 \gg I_{BQ}$, 因此

$$U_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

分压式偏置放大电路的基极电压由上、下偏置电阻决定, 与三极管参数无关。

2. 动态及静态分析

1) 动态分析

分压式偏置放大电路对应的交流通路如图 3.15 所示。

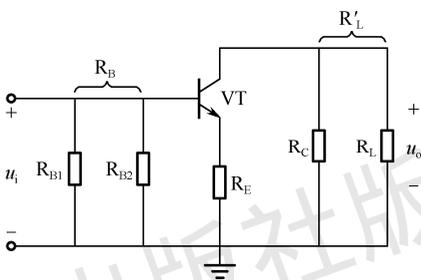


图 3.15 分压式偏置放大电路对应的交流通路

2) 交流参数的估算

分压式偏置放大电路的交流通路与固定式偏置放大电路的交流通路基本相同, 只是分压式偏置放大电路用 $R_{B1} // R_{B2}$ 代替了固定式偏置放大电路中的 R_B , 所以估算输入电阻、输出电阻和电压放大倍数的方法与固定式偏置放大电路相同。

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

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

$$R_o = R_C$$

3) 静态分析

分压式偏置放大电路对应的直流通路如图 3.16 所示。

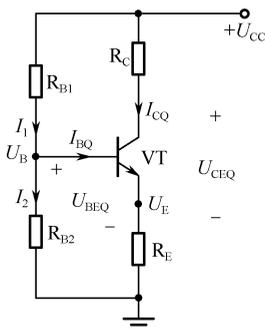


图 3.16 分压式偏置放大电路对应的直流通路

4) 直流参数的估算

$$U_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_E}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

例题 2 在图 3.14 中, 若 $R_{B1}=8k\Omega$, $R_{B2}=2k\Omega$, $R_C=2k\Omega$, $R_L=2k\Omega$, $R_E=1k\Omega$, $U_{CC}=12V$, 三极管的 $\beta=60$ 。求: ①放大电路的静态工作点; ②放大电路的输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 及电压放大倍数 A_u 。

解: ①估算静态工作点。

$$U_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} = \frac{2 \times 12}{8 + 2} = 2.4V$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ}}{R_E} = \frac{2.4}{1 \times 10^3} = 2.4mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{2.4}{60} = 40\mu A$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 12 - 2.4 \times (1 + 2) = 4.8V$$

② 估算输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 及电压放大倍数 A_{ui} 。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 60) \frac{26}{2.4} \approx 960\Omega = 0.96k\Omega$$

$$R_i \approx r_{be} = 0.96k\Omega$$

$$R_o \approx R_C = 2k\Omega$$

$$R'_L = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} = \frac{2 \times 4}{2 + 4} \approx 1.33k\Omega$$

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{60 \times 1.33}{0.96} \approx -83$$

四、共集电极、共基极放大电路

在三极管放大电路中, 除发射极外, 另外两个电极也可以作为放大电路的输入、输出回路的公共端, 分别构成共集电极放大电路和共基极放大电路。

1. 电路构成

1) 共集电极放大电路

共集电极放大电路如图 3.17 所示。从电路的交流通路可以看出, 输入信号加在基极与集电极之间(直流电源对于交流信号相当于短路, 故集电极交流接地), 而放大后的信号电压从发射极和集电极之间输出, 集电极成为输入、输出回路的公共端, 因此称为共集电极放大电路。

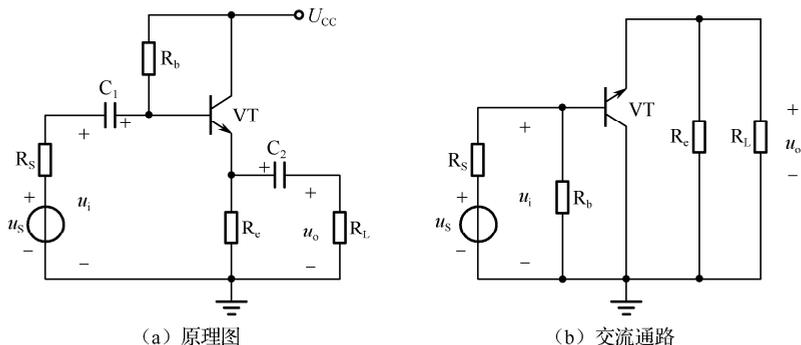


图 3.17 共集电极放大电路

2) 共基极放大电路

共基极放大电路如图 3.18 所示。从电路的交流通路可以看出，输入信号加在基极与发射极之间，而放大后的信号电压从集电极和基极之间输出，基极成为输入、输出回路的公共端，因此称为共基极放大电路。

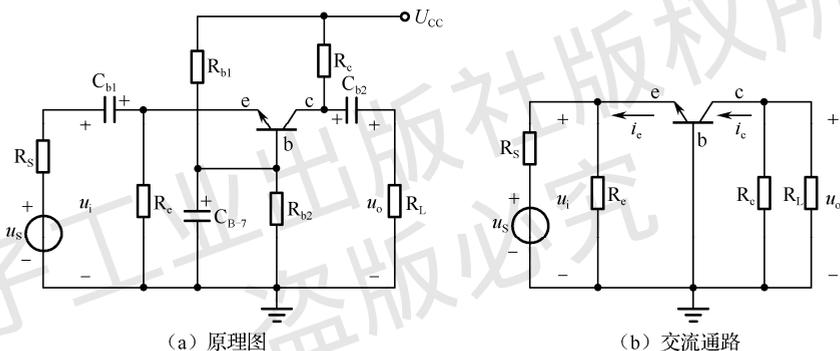


图 3.18 共基极放大电路

2. 工作特点

1) 共集电极放大电路工作特点

由图 3.17 (b) 可得如下参数。

电压放大倍数：

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{(1 + \beta)R_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_L}$$

输入电阻：

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_L]$$

输出电阻：

$$R_o = R_c // \frac{r_{be} + R_s}{1 + \beta}$$

由上述参数可知：

- ① 电压放大倍数小于 1，但约等于 1。
- ② 输入电阻较大，可用作多级放大电路的输入级。

③ 输出电阻较小，带负载能力强，常用作输出级。用作输出级时，较小的输出电阻可以降低负载变化对输出电压的影响，并易于与低阻负载相匹配，向负载传送尽可能大的功率。

2) 共基极放大电路工作特点

由图 3.18 (b) 可得如下参数。

电压放大倍数（输出电压与输入电压同相）：

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

输入电阻：

$$R_i = R_c // \frac{r_{be}}{1 + \beta} \approx \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

输出电阻：

$$R_o \approx R_c$$

由上述参数可知：

- ① 电压放大倍数大。
- ② 输入电阻小。
- ③ 输出电阻大。

共基极放大电路只放大电压，不放大电流，输入电阻小，高频特性很好，常用于高频或宽频带低输入阻抗的场合。

五、多级放大电路

在实际应用中，常要求放大电路有较大的电压放大倍数。显然，单级放大电路是无法满足这一要求的。因此，需要将多个单级放大电路串联起来，构成多级放大电路，以获得更大的电压放大倍数。多级放大电路的组成框图如图 3.19 所示。输入级、中间级的主要功能是放大电压，即根据实际需要把微弱的输入电压放大到足够大。输出级的主要功能是放大功率，驱动负载动作。

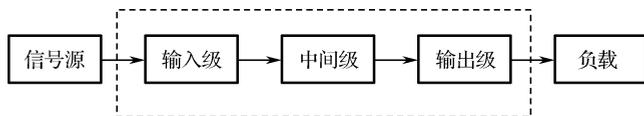


图 3.19 多级放大电路的组成框图

1. 电路构成及耦合方式

在多级放大电路中，各级之间的连接方式称为级间耦合方式。常用的耦合方式有：阻容耦合、直接耦合、变压器耦合、光电耦合。

1) 阻容耦合

将前级放大电路的输出端通过耦合电容与后级放大电路的输入端进行连接，传递交流信号，这种连接方式称为阻容耦合方式。阻容耦合多级放大电路如图 3.20 所示。

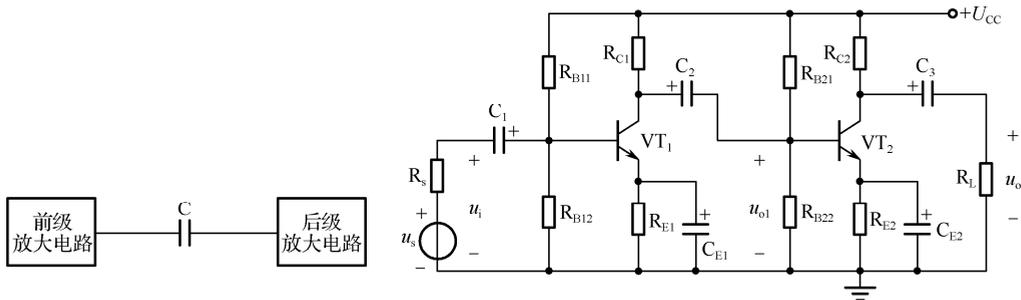


图 3.20 阻容耦合多级放大电路

阻容耦合多级放大电路的优点是级与级之间由电容隔离了直流电，所以静态工作点互不影响，可以各自调整到合适位置。缺点是低频特性不是很好，不适宜传递缓慢变化的信号，更不能用于直流放大器中，一般应用在低频电压放大电路中。

2) 直接耦合

前级放大电路的输出端直接与后级放大电路的输入端进行连接，无耦合元件，信号通过导线直接传递，这种连接方式称为直接耦合方式。直接耦合多级放大电路如图 3.21 所示。

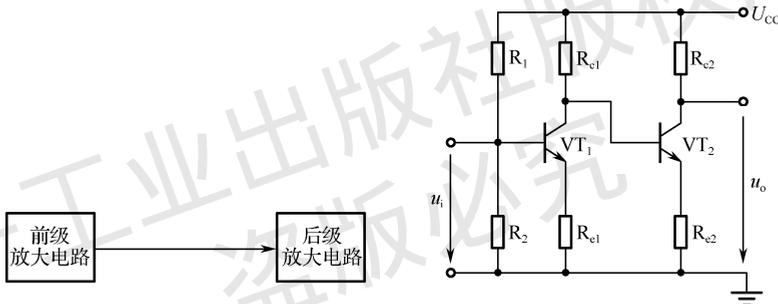


图 3.21 直接耦合多级放大电路

直接耦合多级放大电路的级与级之间直接连接，没有耦合元件，因此适合传递直流信号或变化缓慢的交流信号；直接耦合便于电路的集成化，因此它被广泛应用于集成电路中。缺点是前、后级的静态工作点互相影响，给电路的设计和调试增加了难度。

3) 变压器耦合

前级放大电路输出的交流信号通过变压器耦合到后级放大电路的输入端，这种连接方式称为变压器耦合方式。变压器耦合多级放大电路如图 3.22 所示。

由于变压器依靠磁路传输信号，一、二次绕组彼此绝缘，因此变压器耦合使放大电路的各级静态工作点彼此独立，互不影响。变压器有阻抗变换作用，易于实现级间的阻抗匹配，有利于提高放大器的输出功率。其缺点是体积大，低频特性差，无法集成，因此一般应用于高频调谐放大器或功率放大器中。

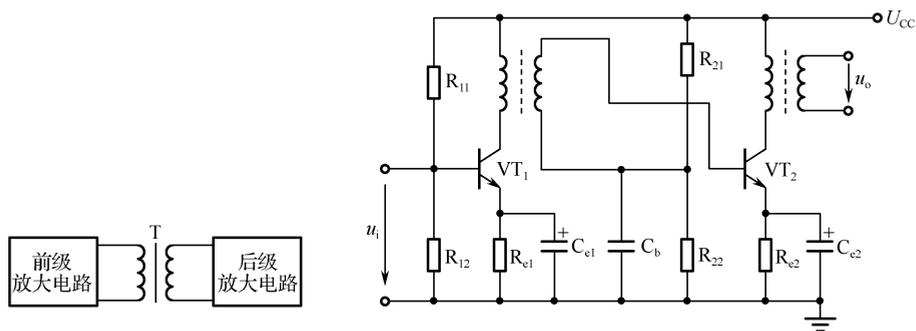


图 3.22 变压器耦合多级放大电路

4) 光电耦合

前级放大电路的输出端通过光电耦合器与后级放大电路的输入端连接，这种连接方式称为光电耦合方式。光电耦合多级放大电路如图 3.23 所示。

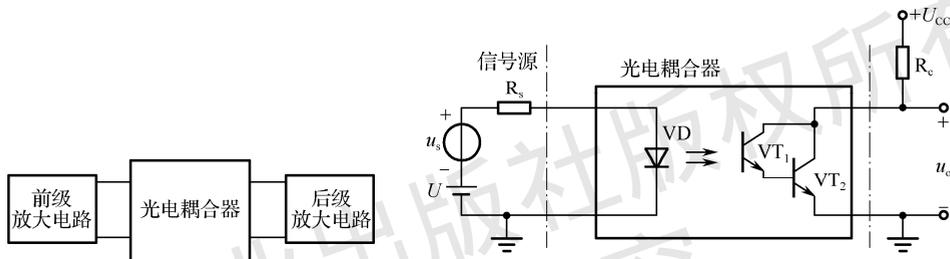


图 3.23 光电耦合多级放大电路

光电耦合多级放大电路既可传输交流信号又可传输直流信号，而且抗干扰能力强，易于集成化，因此被广泛应用于集成电路中以光电耦合器为媒介来实现电信号的耦合和传输。

2. 电路指标分析

多级放大电路的主要性能指标有电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、通频带等。

1) 电压放大倍数

多级放大电路对放大信号而言，属于串联关系，前一级的输出信号即后一级的输入信号。因此，多级放大电路总的电压放大倍数等于各级电压放大倍数的乘积，即

$$A_u = A_{u1} \times A_{u2} \times A_{u3} \times \cdots \times A_{un}$$

式中， n 为多级放大电路的级数。

为方便计算，通常对电压放大倍数取对数，其值称为电压增益，单位为分贝 (dB)。总的电压增益为各级电压增益的代数和，即

$$G_u = G_{u1} + G_{u2} + G_{u3} + \cdots + G_{un}$$

2) 输入电阻

输入电阻连接着信号源，主要任务是从信号源获得输入信号。多级放大电路的输入电阻就是第一级的输入电阻，即

$$R_i = R_{i1}$$

3) 输出电阻

多级放大电路的输出电阻就是最后一级的输出电阻, 即

$$R_o = R_{on}$$

4) 通频带

幅频特性曲线是描述放大电路的电压放大倍数的幅度与频率变化关系的曲线, 如图 3.24 所示。从图中可以看出, 在一定频率范围内, 电压放大倍数高且稳定, 这个频率范围称为中频区。在中频区以外的区域, 随着频率的升高或下降, 电压放大倍数都会急剧下降。

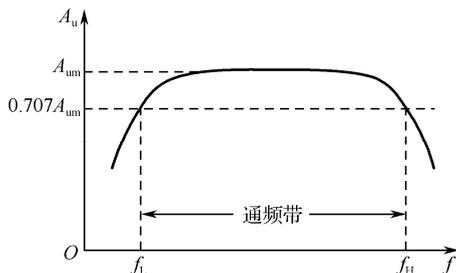


图 3.24 放大电路的幅频特性曲线

工程上将电压放大倍数下降到中频的 0.707 倍时所对应的低端频率称为下限频率 f_L , 所对应的高端频率称为上限频率 f_H 。 f_L 与 f_H 之间的频率范围称为通频带, 用 BW 表示, 则

$$BW = f_H - f_L$$

如图 3.25 所示, 第一级、第二级为两个参数完全相同的单级放大电路, B_1 、 B_2 为它们的通频带, 将这两个单级放大电路连成一个两级放大电路后, 通频带为 B 。由图 3.25 可见, B 比 B_1 、 B_2 都窄, 且放大电路级数越多, 通频带就越窄。因此, 为了满足多级放大电路通频带的要求, 必须把每个单级放大电路的通频带选得宽一些。

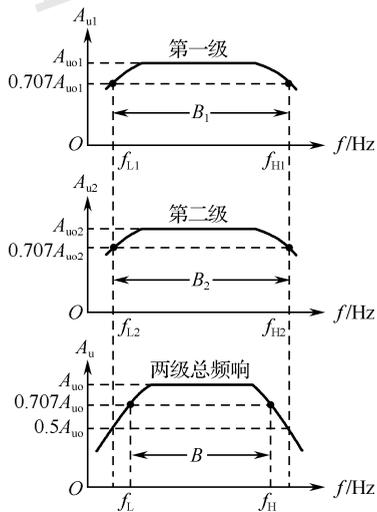


图 3.25 两级放大电路的通频带

六、场效晶体管

场效晶体管是利用输入电压产生的电场效应来控制输出电流变化的放大元件。与三极管相比，它具有输入阻抗高、噪声小、热稳定性好等优点，因而得到了迅速发展与广泛应用。

场效晶体管也是由 PN 结构成的，根据结构和工作原理的不同可分为两类：一类是结型场效晶体管，另一类是绝缘栅型场效晶体管。场效晶体管根据其沟道所采用的半导体材料不同，可分为 P 沟道和 N 沟道两种。沟道就是电流通道。

1. 绝缘栅型场效晶体管

绝缘栅型场效晶体管可分为增强型和耗尽型两类，每类又有 P 沟道和 N 沟道两种。下面以 N 沟道为例，介绍绝缘栅型场效晶体管。

1) 结构

图 3.26 所示的 N 沟道绝缘栅型场效晶体管用一块掺杂浓度较低的 P 型硅片作为衬底，在上面扩散出两个相距很近、掺杂浓度高的 N+ 区，分别引出源极 S 和漏极 D；在硅片表面生成一层薄薄的 SiO₂ 绝缘层，在绝缘层上再制作一层铝金属膜作为栅极 G。栅极和其他电极之间是绝缘的，所以称为绝缘栅型场效晶体管，或称金属-氧化物-半导体场效晶体管，简称 MOS 管。D 极与 S 极之间有 3 条虚线，表示增强型（若是实线，则表示耗尽型）。各种绝缘栅型场效晶体管的符号如图 3.27 所示。

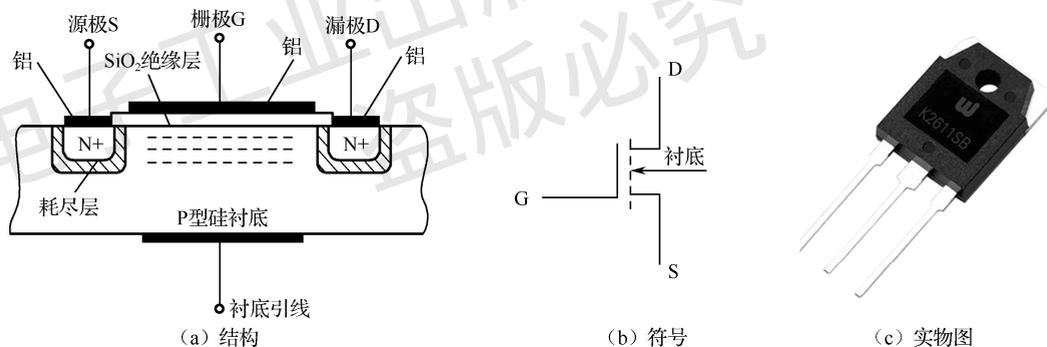


图 3.26 N 沟道绝缘栅型场效晶体管的结构、符号及实物图

漏极 D 相当于双极型三极管的集电极，栅极 G 相当于基极，源极 S 相当于发射极。

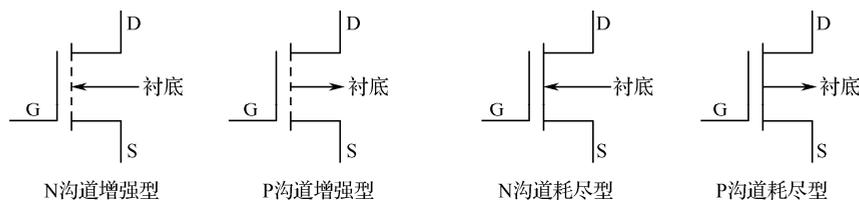


图 3.27 各种绝缘栅型场效晶体管的符号

2) 工作原理

① $U_{GS}=0$ 时，如图 3.28 (a) 所示，漏极 D 和源极 S 之间有两个背靠背的 PN 结，漏极

与源极间没有导电沟道，所以这时漏极电流 $i_D \approx 0$ 。

② $U_{GS} > 0$ 时（超过开启电压），栅极和衬底之间的 SiO_2 绝缘层中便产生一个电场，这个电场能排斥空穴而吸引电子。当 U_{GS} 达到某一数值时，这些电子在栅极附近的 P 型衬底表面形成一个 N 型薄层，且与两个 N+ 区互相连通，即在漏极与源极间形成 N 型导电沟道，如图 3.28 (b) 所示。此时，如果在漏极与源极之间加正向电压 U_{DS} ，则会有电流经沟道到达源极，形成漏极电流 i_D ，场效晶体管处于导通状态，如图 3.28 (c) 所示。

显然， U_{GS} 越大，导电沟道越宽，沟道电阻越小， i_D 越大，这就是 N 沟道增强型绝缘栅型场效晶体管 U_{GS} 控制 i_D 的基本原理。

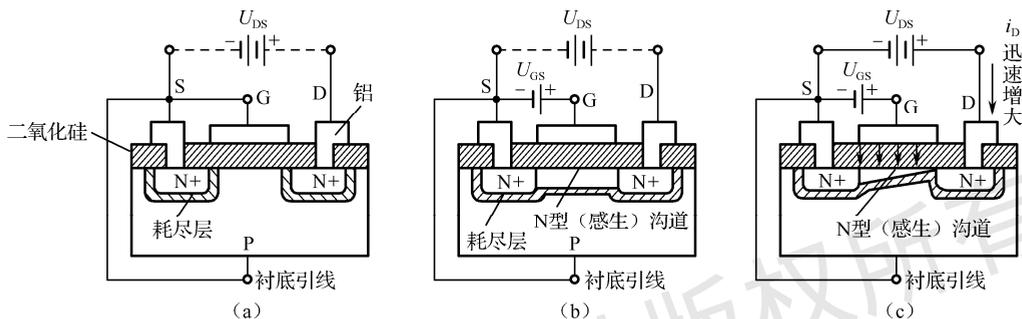


图 3.28 N 沟道增强型绝缘栅型场效晶体管的工作原理图

3) 主要特性

(1) 转移特性曲线。

转移特性曲线是指漏源电压 U_{DS} 为定值时，漏极电流 i_D 与栅源电压 U_{GS} 之间的关系曲线，如图 3.29 (a) 所示。只有当 U_{GS} 大于开启电压 $U_{GS(th)}$ 时，才有漏极电流 i_D ，且 i_D 随 U_{GS} 的增大而增大。

(2) 输出特性曲线。

输出特性曲线是指栅源电压 U_{GS} 为定值时，漏极电流 i_D 与漏源电压 U_{DS} 的关系曲线，如图 3.29 (b) 所示。按场效晶体管的工作特性可将输出特性曲线分为三个区域。

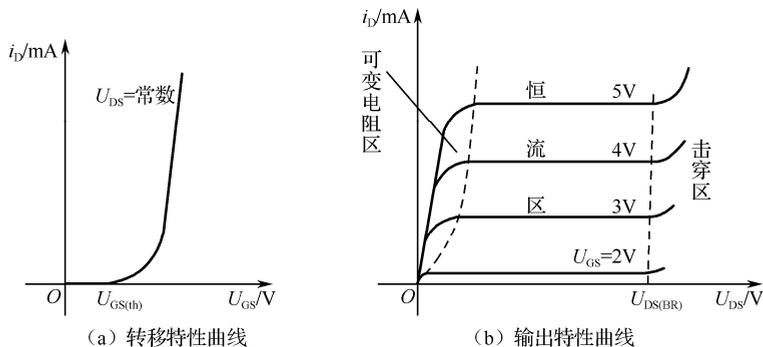


图 3.29 N 沟道增强型绝缘栅型场效晶体管特性曲线

① 可变电阻区。 U_{DS} 相对较小， i_D 随 U_{DS} 增大而增大。 U_{GS} 增大，曲线变陡，说明沟道电阻随 U_{GS} 变化而变化，故称可变电阻区。

② 恒流区。漏极电流 i_D 基本不随 U_{DS} 的变化而变化，只随 U_{GS} 的增大而增大，体现了

U_{GS} 对 i_D 的控制作用。

③ 击穿区。当 U_{DS} 增大到一定值时，场效晶体管内的 PN 结被击穿， i_D 突然增大，管子进入击穿区。

2. 结型场效晶体管

1) 结构

图 3.30 (a) 所示的 N 沟道结型场效晶体管是在两个高掺杂浓度的 P 区中间，夹着一层低掺杂浓度的 N 区（N 区一般做得很薄），形成了两个 PN 结。从 N 区的两端各引出一个电极，从两个 P 区也引出电极，并把这两个 P 区连起来，就构成了一个场效晶体管。从 N 区引出的两个电极分别为源极 S 和漏极 D，从两个 P 区引出的电极为栅极 G，很薄的 N 区称为导电沟道。结型场效晶体管分为 N 沟道和 P 沟道两种，它们的符号如图 3.30 (b) 所示。

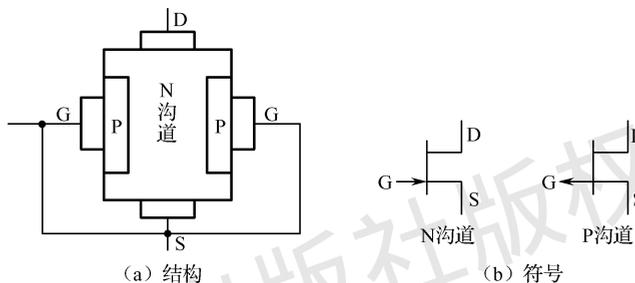


图 3.30 结型场效晶体管

2) N 沟道结型场效晶体管特性曲线 (图 3.31)

(1) 转移特性曲线。

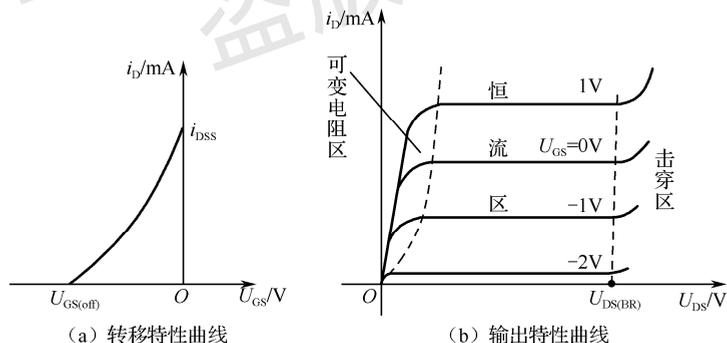


图 3.31 N 沟道结型场效晶体管特性曲线

从图 3.31 (a) 所示的 N 沟道结型场效晶体管转移特性曲线上可以看到，N 沟道结型场效晶体管正常工作时，栅、源极之间所加电压为负电压，即 $U_{GS} < 0$ 。

(2) 输出特性曲线。

如图 3.31 (b) 所示是 N 沟道结型场效晶体管输出特性曲线，它分为可变电阻区、恒流区和击穿区，三个区域的含义与绝缘栅型场效晶体管相同。

3. 场效晶体管放大电路

场效晶体管与三极管一样，具有放大能力，利用场效晶体管同样可以制作各种放大电路，

其中最常见的是共源极放大电路。

1) 自偏压共源极放大电路

如图 3.32 所示为 N 沟道结型场效应晶体管构成的自偏压共源极放大电路。该电路从栅极输入信号，漏极输出信号，源极是信号输入、输出的公共端。该电路中仅使用了下偏置电阻，在 $U_{GS}=0$ 时，也有漏极电流流过 R_S ，这会在 R_S 上产生源极电位 $U_S=i_D R_S$ ，由于栅极基本不取用电流，所以 $U_G=0$ ， $U_{GS}=U_G-U_S=-i_D R_S$ ，该压降为栅、源极间提供负栅压，使管子工作在放大区。这种栅偏压依靠场效应晶体管自身电流 i_D 产生，故称自偏压共源极放大电路。

2) 分压式自偏压放大电路

如图 3.33 所示，分压式自偏压放大电路是在自偏压放大电路的基础上加分压电阻后构成的。 R_{G1} 、 R_{G2} 为分压电阻， R_{G3} 采用高阻值电阻。因为场效应晶体管栅极电流近似为 0，所以 R_{G3} 上无电流流过。

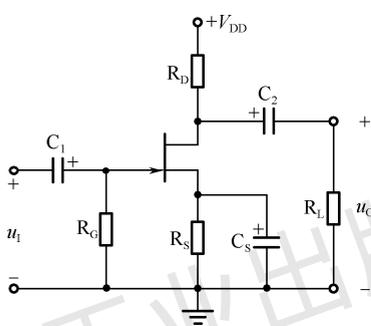


图 3.32 自偏压共源极放大电路

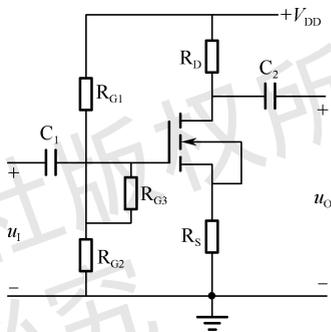


图 3.33 分压式自偏压放大电路

静态时栅极电位为

$$U_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

而源极上的电位为 $U_S=i_D R_S$ ，所以栅极偏置电压为

$$U_{GS} = U_G - U_S$$

学生工作页

信息收集

1. 结合三极管相关知识的学习，完成下面的填空题。

(1) 三极管工作在饱和区时，发射结_____偏，集电结_____偏。

(2) 三极管按结构分为_____和_____两种类型，均具有两个 PN 结，即_____和_____。

(3) 三极管的发射结和集电结都正向偏置或反向偏置时，三极管的工作状态分别是_____和_____。

(4) 三极管有放大作用的外部条件是发射结_____偏，集电结_____偏。

(5) 若一三极管在发射结加上反向偏置电压，在集电结也加上反向偏置电压，则这个三极管处于_____状态。

(6) 用万用表测得 PNP 型三极管三个电极的电位分别是 $V_C=6V$ ， $V_B=0.7V$ ， $V_E=1V$ ，则三极管工作在_____状态。

2. 测量三极管各极的电流并分析各极电流关系。

(1) 按图 3.34 连接电路。

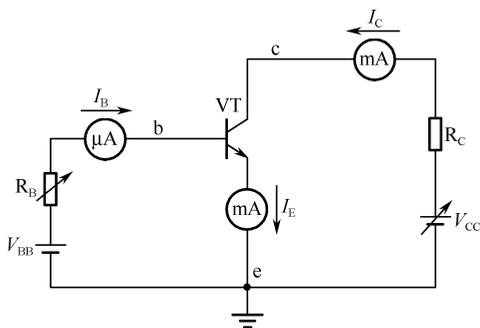


图 3.34 题 2 图

(2) 令 $R_B=100k\Omega$ ， $R_C=1k\Omega$ ， $V_{BB}=3V$ ， $V_{CC}=12V$ ，改变 R_B 、 V_{CC} ，用电流表测量相应的 I_B 、 I_C 、 I_E ，填写表 3.6。

表 3.6 题 2 表

I_B/mA				
I_C/mA				
I_E/mA				

三极管各极电流关系为_____，三极管具有_____作用。

3. 三极管的检测。

现有一批三极管，请你根据三极管检测的相关知识，完成下面的填空题。

1) 判断三极管的基极和类型。

选择万用表 $R\times 100$ 或 $R\times 1k$ 挡，用黑表笔接一引脚（假定其为 B 极），红表笔分别接另外两引脚，测得两个电阻值。

(1) 如两个阻值均为小数值，则管子为_____管，黑表笔接触的为_____极，假定正确。

(2) 如两个阻值均为无穷大，则管子为_____管，黑表笔接触的为_____极，假定正确。

(3) 如一个阻值为无穷大，另一个为小数值，则假定的_____极错误，须重新假定，直到找到基极为止。

2) 确定集电极和发射极。

将万用表置于_____挡（以 NPN 型三极管为例），红表笔接基极以外的引脚，左手拇指与中指将黑表笔与基极以外的另一引脚捏在一起，同时用左手食指触摸余下的引脚，这时表针应向右摆动。将基极以外的两引脚对调后再测一次。两次测量中，表针摆动幅度较大的

那一次，黑表笔所接为_____，红表笔所接为_____。表针摆动幅度越大，说明被测三极管的 β 值越大。

4. 什么是放大电路的静态工作点？为什么要设静态工作点？

5. 电路如图 3.35 所示，已知三极管的 $\beta=60$ 。

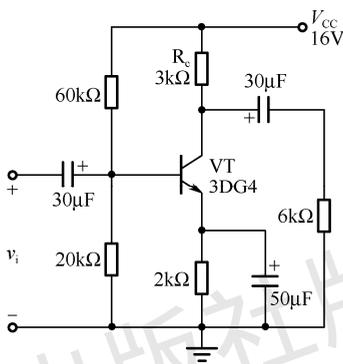


图 3.35 题 5 图

(1) 说明放大电路中各元件的作用。

(2) 试画出图 3.35 所示电路的直流通路和交流通路。

(3) 求静态工作点。



(4) 求输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 及电压放大倍数 A_u 。

6. 根据图 3.36 所示电路回答问题。

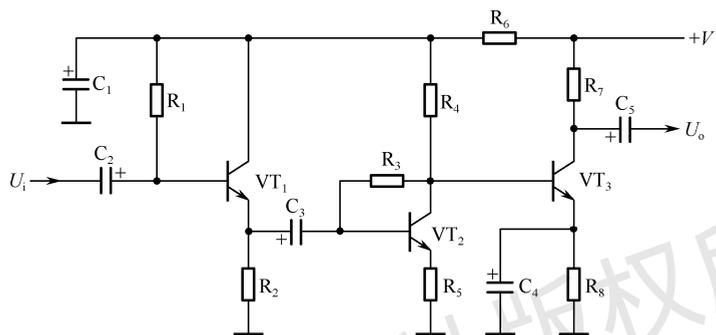


图 3.36 题 6 图

(1) 该电路由几级放大电路构成？各级之间采用何种耦合方式？

(2) 各级采用哪类偏置电路？

(3) 画出电路框图。

分析计划

请认真阅读套件资料，清点元件，做好装配准备工作。

迎宾器电路简介及元件清单

1. 电路简介

迎宾器连接电路如图 3.37 所示。当有人经过感光器件时，光敏电阻接收到的光线强度发生变化，这个变化经 C_2 耦合，再经 VT_1 等组成的高增益放大电路后，输入 IC_1 的反相输入端，这个信号与同相输入端输入的信号在 IC_1 内部经运算放大处理后，形成一个控制信号，驱动 IC_1 内部的音频电路工作，产生“您好，欢迎光临”的音频信号，最后经 SP_1 完成电声转换。

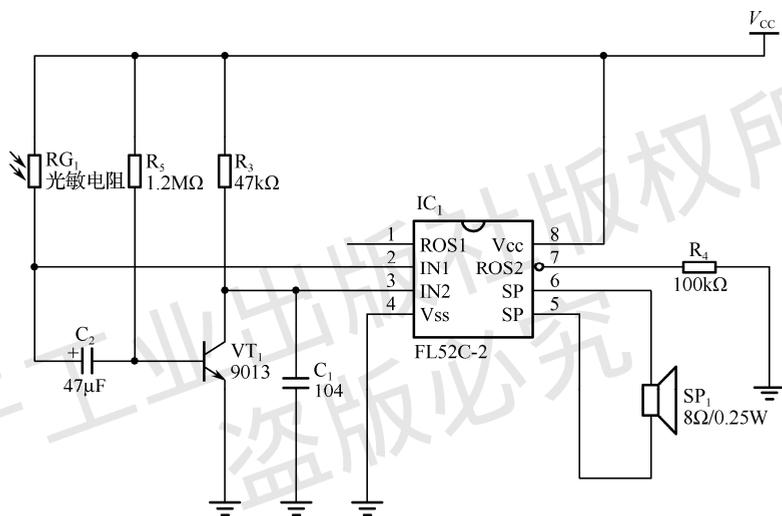


图 3.37 迎宾器连接电路

2. 元件清单 (表 3.7)

表 3.7 元件清单

序号	元件	名称	数量	规格型号
1	RG_1	光敏电阻	1	—
2	R_3	电阻	1	47k
3	R_4	电阻	1	100k
4	R_5	电阻	1	1.2M
5	C_2	电容	1	47 μ F
6	VT_1	三极管	1	9013
7	C_1	电容	1	104
8	IC_1	集成电路	1	—
9	SP_1	扬声器	1	—
10	E	电池盒	1	—

任务实施

实施前应全面检查人员分工是否到位、材料和工具是否齐全，实施中应注意操作规范、安全，实施后应严格按照 5S 进行整理。

迎宾器装配任务书

本次任务的实施时间为 2 小时。具体要求如下：

- (1) 注意操作安全，装配完成后必须通知教师，经教师同意后方可通电。
- (2) 仪器仪表的使用应符合操作规程。
- (3) 工具使用应安全、规范。
- (4) 保持工位整洁。

1. 元件识别、筛选、检测（10 分）

仔细清点套装材料的数量，并对套装元件进行识别、检测与筛选，填写表 3.8。

表 3.8 元件识别及检测

元 件	识别及检测内容		配 分	评 分 标 准	得 分
三极管	VT ₁	面对引脚，平面向下，画出三极管，并标出类型及引脚名称	图形 2 分，类型 1 分，引脚名称 3 分，共 6 分	检测错不得分	
集成电路	IC ₁	IN1	每空 1 分，共 2 分	检测错不得分	
		IN2			
扬声器	SP ₁	测量阻值	每空 1 分，共 2 分	检测错不得分	
		测量挡位			

2. 迎宾器的焊接（25 分）

要求焊点大小适中、光滑、圆润、干净、无毛刺，无漏、假、虚、连焊；引脚加工尺寸及成形符合工艺要求；导线长度、剥头长度符合工艺要求，芯线完好，捻头镀锡。

疵点：1 处扣 1 分，2~4 处扣 5 分，5~10 处扣 10 分，10 处以上扣 25 分。

3. 迎宾器的装配（35 分）

要求元件、插件位置正确，元件极性正确；插件、紧固件安装可靠、牢固，印制板安装对位；无烫伤和划伤处，整机清洁无污物。

装配不符合工艺要求：1 处扣 4 分，2~4 处扣 10 分，5~8 处扣 20 分，8 处以上扣 35 分。

4. 迎宾器的调试（30 分）

1) 调试并实现迎宾器的基本功能（10 分）

- (1) 供电电路工作正常。（2 分）
- (2) 放大电路工作正常。（4 分）

教师签字：_____

教师签字：_____



(3) 音频电路工作正常。(4分)

教师签字: _____

2) 检测 (20分)

(1) 电路中所用的三极管工作在_____ (放大、开关) 状态。(2分)

(2) 电路中的 IC₁ 起_____作用。(3分)

(3) 如何判断扬声器质量优劣? (5分)

(4) 画出迎宾器电路的组成框图, 并简述该电路工作过程。(10分)

检验评估

1. 按照表 3.9 中的标准对本次任务进行评价。

表 3.9 任务评价表

编号	评价内容	分值	评价标准		评分	备注
1	理论知识	10	掌握相关理论知识			
2	元件识别、检测	20	元件识别、检测无误 (15分) 安装位置正确 (5分)			
3	领料清单	10	元件名称准确 (4分) 规格型号描述准确 (3分) 数量与电路图对应 (3分)			
4	安装效果	40	功能实现 (20分)	发现 1 处故障扣 5 分, 扣完为止		
			装配工艺 (20分)	按任务书中电子产品装配工艺标准, 不符合 1 处扣 1 分, 扣完为止		
5	安全规范操作	10	工具仪表使用规范, 有防护措施, 无带电操作, 符合 5S 要求			
6	团结协作	10	(1) 分工明确, 完成各自职责 (5分) (2) 互相协作 (5分)			



2. 认真分析失分原因，你准备通过哪些措施避免以后再出现同类错误？

回顾总结

通过装配迎宾器，你学到了哪些知识，提升了哪些技能，试着总结一下。

电子工业出版社版权所有
盗版必究