

浙江大学实验报告

专业:

姓名:

学号:

日期:

地点:

课程名称: 电路与模拟电子技术实验 指导老师: 张治沁 成绩: _____
实验名称: 三极管的伏安特性测量 实验类型: 模拟电子电路实验

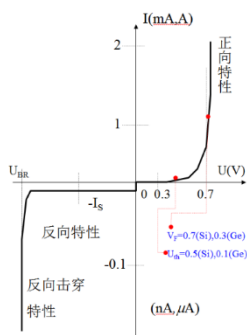
一、实验目的和要求

1. 学习三极管 D882/9013 基极 b, 集电极 c, 发射极 e 的判别。
2. 学习 PNP 管和 NPN 管的判别。
3. 学习硅 (Si)、锗 (Ge) 管的判别。
4. 三极管 D882/9013 的伏安特性曲线测量。

二、实验内容和原理

(1) 实验原理:

- ① 三极管的基本结构: 三极管由两个 PN 结构成, 共用的一个电极称为基极 b, 其余两个电极称为发射极 e 和集电极 c。基区和发射区之间的结成为发射结, 基区和集电区之间的结成为集电结。

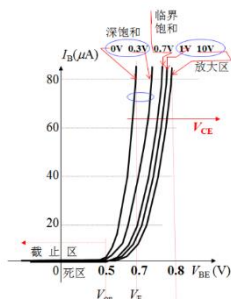


② 三极管基极 b、集电极 c, 发射极 e 的判别: 三极管由两个 PN 结构成, 而二极管由一个 PN 结构成, 可以由二极管的伏安特性曲线推出三极管各极为 P 区还是 N 区。具体的做法为将电源正极接至一个脚, 电源负极分别接至另外两个脚时, 若均为正向导通, 则电源正极所连的脚为 NPN 型三极管的基极。若将电源负极接至一个脚, 电源正极分别接至另外两个脚时, 若均为正向导通, 则电源负极所连的脚为 PNP 型三极管的基极 (这样也可区分出 PNP 型三极管和 NPN 型三极管)。而发射极 e 和集电极 c 则要测量基极对 e、c 的正向电阻, 正向电阻低的为集电极。(在实验中对于标准的三极管, 将字样对准自己时, 从左到右三个脚分别为 e、c、b)

- ③ 硅、锗管的判别: 在基极 b 和发射极 e 之间加正向电压, 若正向压降为 0.7V 左右, 则为硅管; 若正向压降为 0.5V 左右, 则为锗管。

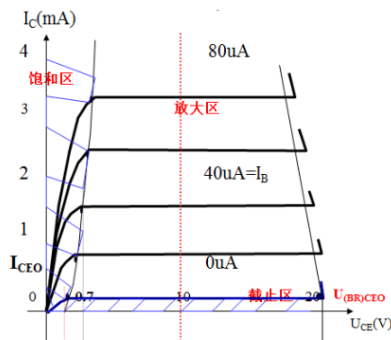
- ④ 三极管输入输出的伏安特性曲线:

a. 输入特性曲线: 输入的伏安特性曲线为基极和发射极的电压差 U_{BE} 和电流 I_B 间的关系。



由于三极管 be 极为 1 个 PN 结, 所以其伏安特性曲线与二极管的伏安特性曲线类似: 当在 BE 两端加正向电压时, 当正向电压大于开启电压时 (硅三极管为 0.7V, 锗三极管为 0.5V), 电流随电压的增加而快速上升, 称为导通状态。而 BE 两端加反向电压时, 电流几乎为 0, 为截止状态。与普通二极管不同的时, BE 两端的伏安特性还受 U_{CE} 影响, 当 U_{CE} 增加时, BE 两端的伏安特性曲线向右移动。

b. 输出特性曲线: 输出的伏安特性曲线为集电极和发射极的电压差 U_{CE} 和电流 I_C 间的关系。



输出的伏安特性曲线分为三个区域：饱和区、放大区、截止区。截止区是指电路中发射结电压小于开启电压且集电结反向偏置，此时 $i_B \leq 0$ ，晶体管无放大作用，集电极上只有微小的穿透电流。放大区是指电路中发射结正向偏置，集电结反向偏置，特性曲线近似于一簇平行的水平线。此时， $i_C = \beta i_B$ ，晶体管具有电流放大作用，且 U_{CE} 对集电极电流 i_C 的控制作用很弱（ $U_{CE} > 1V$ 时， i_C 几乎不随 U_{CE} 的增加而增加）。饱和区是指电路中当 U_{CE} 小于某值后， i_C 不再与 i_B 成比例，而是 $i_C < \beta i_B$ ，称晶体管进入饱和区，此时晶体管集射间电压 U_{CE} 称为饱和压降。

（2）实验内容：

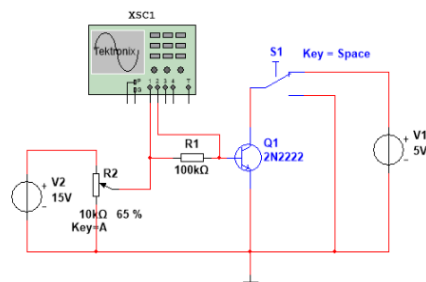
- ① 测量不同 U_{CE} 下 BE 两端的伏安特性曲线（即输入的伏安特性曲线）
- ② 测量不同 i_B 下 CE 两端的伏安特性曲线（即输出的伏安特性曲线）
- ③ 观察利用三极管设计而成的反向器的输入输出波形，体会反向器的工作原理与作用。
- ④ 在 Multisim 中利用 IV 分析仪直接观测三极管的伏安特性。

三、实验仪器

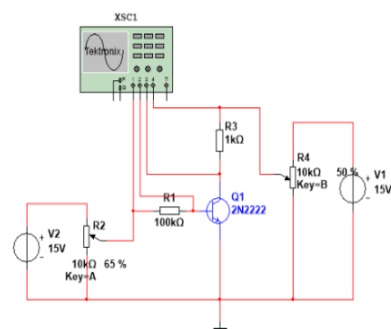
Rigol_MSO4054 数字示波器、模电实验箱（ $100K\Omega$ 、 $1K\Omega$ ）、万用表、D882 三极管、DP832A 型直流电源、信号源。

四、操作方法和实验步骤

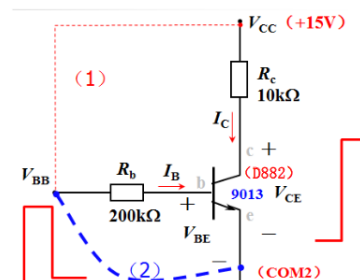
- （1）按照右图所示连接电路，DP832A 型直流电源的通道一接至 V2，通道三接至 V1，先将通道三电源电压调为 0V，即 $U_{CE} = 0V$ ，调整通道一的电源电压，使之从 0V 开始增大，用万用表测量 $100K\Omega$ 电阻两端的电压，除以电阻值即得到基极到发射极的电流 I_B 。从而得到在 $U_{CE} = 0V$ 时三极管的输入伏安特性曲线；再将通道三电源电压调为 5V，重复上述步骤，即得到不同的 U_{CE} 下三极管的输入特性曲线。



- （2）按照右图所示连接电路，DP832A 型直流电源的通道一接至 V1，通道三接至 V2，调节 V2，将万用表接至 $100K\Omega$ 电阻两端，待其示数达到 1V，即电路中 I_B 等于 $10\mu A$ 时，保持 V2 不变，将万用表置于 $1K\Omega$ 电阻两端，改变 V1，使之从 0V 开始增加，记录万用表测出的 $1K\Omega$ 两端的电压值，除以电阻值即得到集电极到发射极的电流 I_C 。从而得到在 $I_B = 10\mu A$ 时三极管的输出伏安特性曲线；再改变 V1，使 $100K\Omega$ 电阻两端电压为 4V，即 $I_B = 40\mu A$ ，重复上述步骤，即得到不同的 I_B 下三极管的输出特性曲线。



- (3) 按右图所示连接电路， V_{BB} 接入峰峰值为 5V，频率为 1KHz 的单极性方波，观察输出波形，体会反向器作为电子开关的作用。再将输入频率改为 100KHz，观察输出波形，体会信号频率不同时，输出波形不同的原因，如果输出波形不好，可将 200K Ω 电阻改为 10K Ω 。



五、实验数据记录与处理

1. $U_{CE} = 0V$ 时，输入的伏安特性记录

V_{BB}/V	0	0.210	0.310	0.410	0.510	0.560	0.610	0.660
V_{BE}/V	0	0.206	0.305	0.402	0.472	0.490	0.503	0.511
$I_B/\mu A$	0	0.04	0.05	0.08	0.38	0.70	1.07	1.49

V_{BB}/V	0.710	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
V_{BE}/V	0.518	0.542	0.571	0.585	0.594	0.601	0.607	0.611
$I_B/\mu A$	1.92	4.58	14.29	24.15	34.06	43.99	53.93	63.89

V_{BB}/V	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000	13.000	14.000	15.000
V_{BE}/V	0.615	0.619	0.622	0.625	0.627	0.630	0.632	0.634
$I_B/\mu A$	73.85	83.81	93.78	103.75	113.73	123.70	133.68	143.66

2. $U_{CE} = 5V$ 时，输入的伏安特性记录

V_{BB}/V	0	0.310	0.410	0.510	0.560	0.610	0.660
V_{BE}/V	0	0.305	0.404	0.493	0.522	0.540	0.552
$I_B/\mu A$	0	0.05	0.06	0.17	0.38	0.70	1.08

V_{BB}/V	0.710	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
V_{BE}/V	0.561	0.588	0.619	0.632	0.639	0.645	0.648
$I_B/\mu A$	1.49	4.12	13.81	23.68	33.61	43.65	53.52

V_{BB}/V	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	14.000	15.000
V_{BE}/V	0.650	0.652	0.653	0.654	0.655	0.656	0.657
$I_B/\mu A$	63.50	73.48	83.47	93.46	103.45	133.44	143.43

3. $I_B = 10\mu A$ 时，输出的伏安特性记录（因实验中三极管 D882 出现问题，所以下表数据为 Multisim 软件中测得）

V_{CC}/V	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
V_{CE}/V	0.024	0.043	0.058	0.072	0.086	0.103	0.126
I_C/mA	0.076	0.157	0.242	0.328	0.414	0.497	0.574

V_{CC}/V	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0
V_{CE}/V	0.164	0.237	0.327	0.511	0.787	1.247	2.166
I_C/mA	0.636	0.663	0.673	0.689	0.713	0.753	0.834

V_{CC}/V	4.0	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0
V_{CE}/V	3.083	4.004	5.843	7.681	9.520	11.358	13.196
I_C/mA	0.917	0.996	1.157	1.319	1.480	1.642	1.804

4. $I_B = 40 \mu A$ 时，输出的伏安特性记录

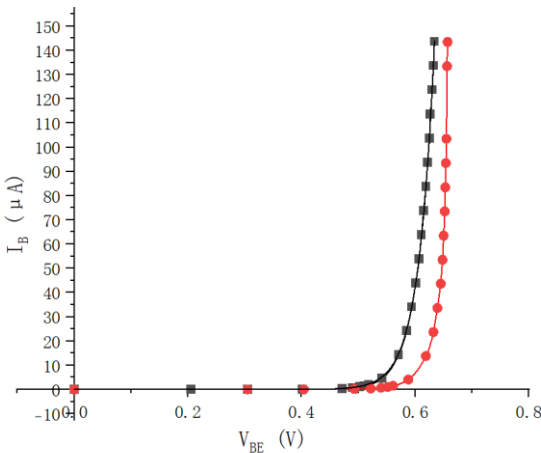
V_{CC}/V	0.2	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	2.6
V_{CE}/V	0.015	0.035	0.050	0.058	0.078	0.101	0.140	0.155
I_C/mA	0.185	0.465	0.750	0.942	1.422	1.899	2.360	2.445

V_{CC}/V	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.0
V_{CE}/V	0.223	0.363	0.437	0.511	0.585	0.659	0.733	1.103
I_C/mA	2.577	2.637	2.663	2.689	2.715	2.741	2.767	2.897

V_{CC}/V	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0
V_{CE}/V	1.844	2.584	3.324	4.064	4.805	5.525	7.026	9.246
I_C/mA	3.156	3.416	3.678	3.936	4.195	4.475	4.974	5.754

六、实验结果分析

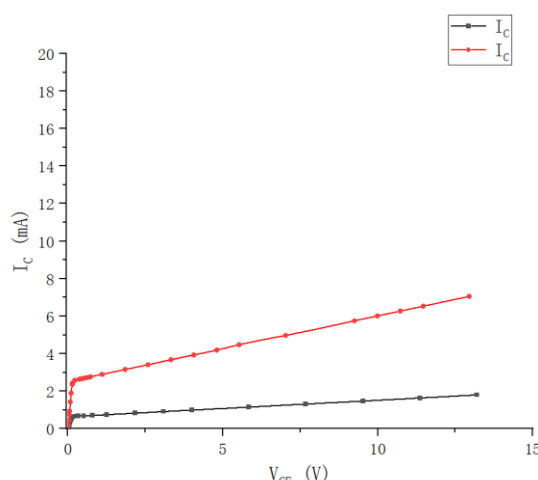
1. 三极管输入的伏安特性曲线



左图为三极管输入的伏安特性曲线，黑色的曲线为 $U_{CE} = 0V$ 时输入的伏安特性曲线，红色的曲线为 $U_{CE} = 5V$ 时输入的伏安特性曲线。当 $U_{CE} = 0$ 时，曲线与二极管的正向特性相似（此时相当于集电极与发射极短路， I_B 与 V_{BE} 的伏安特性即为一个 PN 结的伏安特性）。当 U_{CE} 逐渐从 0 开始增加后，曲线逐渐右移；然而当 $U_{CE} > 1V$ 后，曲线的偏移量很小。从图中还可以看出，输入特性有一个“死区”，在“死区”内， V_{BE} 虽然已经大于 0，但 i_B 几乎仍为 0。当 V_{BE} 大于某一值后， I_B 才随 V_{BE} 的增加而明显增大。

（可以看出实验中所用 D882 的开启电压约为 0.5V）

2. 三极管输出的伏安特性曲线



左图为三极管输出的伏安特性曲线，红色的曲线为 $I_B = 40 \mu A$ 时输出的伏安特性关系，黑色的曲线为 $I_B = 10 \mu A$ 时输出的伏安特性关系。从图中可以看出，当 V_{CE} 较小时， I_C 的增长速率较快且与 I_B 无比例关系，此时称三极管进入饱和区。而当 V_{CE} 大于某一值后（晶体管的饱和压降，约为 $0.7V$ ）， I_C 的增长速率变缓。理论上随着 V_{CE} 的增长， I_C 应基本不变，实验中 $I_B = 10 \mu A$ 时 I_C 基本不变， I_B 随着 I_C 的增加而缓慢变大，这可能与实验中 V_{CE} 会影响 I_B 的值以及实验中电阻、D882 的参数误差和一些偶然误差有关。不过总体的变化趋势是与理论值相符的。

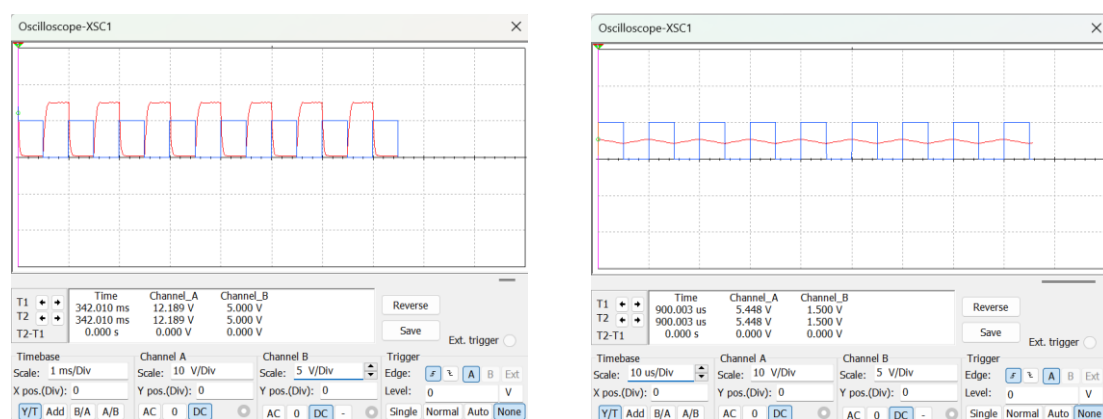
(1) 分析 V_{CE} 增大时 V_{BE} 增大还是减小？

V_{CE} 增加时，输入的伏安特性曲线（即 I_B 与 V_{BE} 的伏安特性曲线）右移，在认为 I_B 基本不变的情况下， V_{BE} 增大。这是因为当 V_{BE} 一定而 V_{CE} 增加时，更多的“自由电子”被传输到集电区（C区），而被基区（B区）截留的“自由电子”就变少了，从而需要增加 V_{BE} ，补充更多“自由电子”。

(2) 分析 V_{CE} 增大时 β 的变化

在实验中，当 $I_B = 10 \mu A$ 时， V_{CE} 增加时， I_C 基本不变，且 I_B 基本不变，因此放大系数 $\beta = I_C / I_B$ 基本不变， β 约为 180；当 $I_B = 40 \mu A$ 时， V_{CE} 增加时， I_C 缓慢增加，且 I_B 基本不变，因此放大系数 $\beta = I_C / I_B$ 缓慢增加，当 $V_{BE} = 10V$ 时， β 约为 150。而理论中不论 I_B 等于多少，只要三极管进入放大区后，当 V_{CE} 增加时， I_C 就基本不变，因此放大系数 $\beta = I_C / I_B$ 基本不变。

3. 反向器输入输出波形



左图为输入频率为 $1KHz$ 时示波器观测的波形变化，右图为输入频率为 $100KHz$ 时示波器观测的输入输出变化。从左图中可以看出，蓝色的波形为单极性输入的方波，红色为输出的波形，当输入为高电平时，输出为 0；输入为 0 时，输出为高电平，从而实现了电子开关与传输延迟的效果。而右

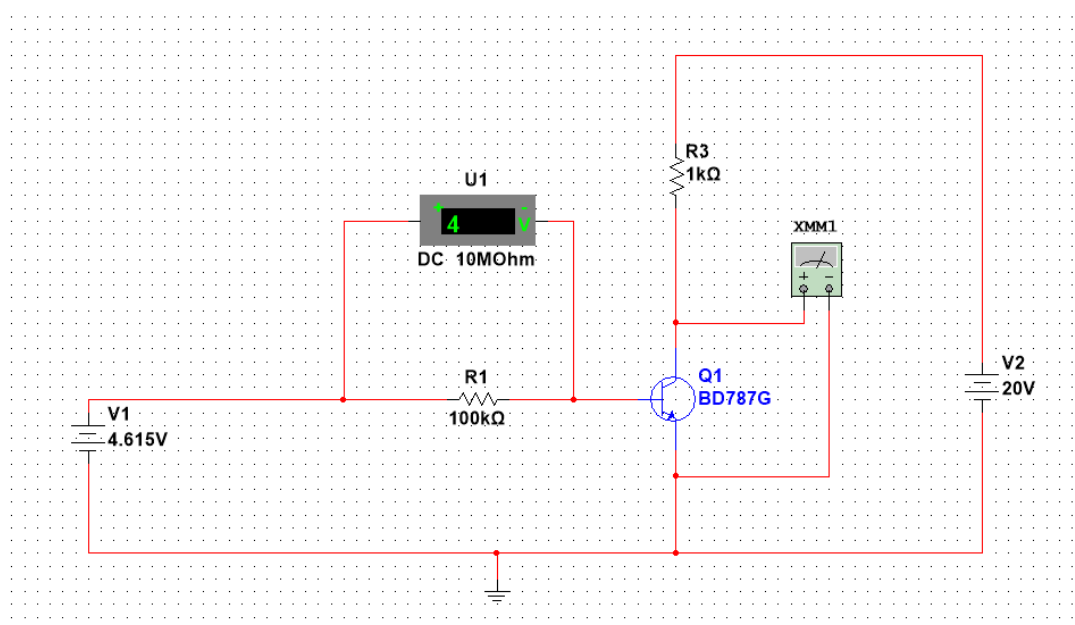
图中输出波形发生了较大变形，不再为方波，即输出波形失真。这是因为三极管正常工作时对频率有一定的限制，频率较大时输出波形就会失真。

七、讨论、心得

通过本次实验，我了解了三极管的基本结构，知道了如何去查看三极管的重要参数，熟悉了三极管输入输出的伏安特性曲线，知道了三极管 D882 基极 b，集电极 c，发射极 e 的判别方法，知道了 PNP 和 NPN 型三极管的判别方法以及硅管和锗管的判别方法，也在仿真软件中通过 IV 分析仪直接观测量三极管的输出伏安特性曲线。在实验过程中，测量三极管的输出伏安特性时， V_{CC} 加到 10V 后，三极管仍未进入放大工作区，当时并未发现问题且实验室中多个三极管均有此问题，所以三极管的输出伏安特性数据为仿真中测得。

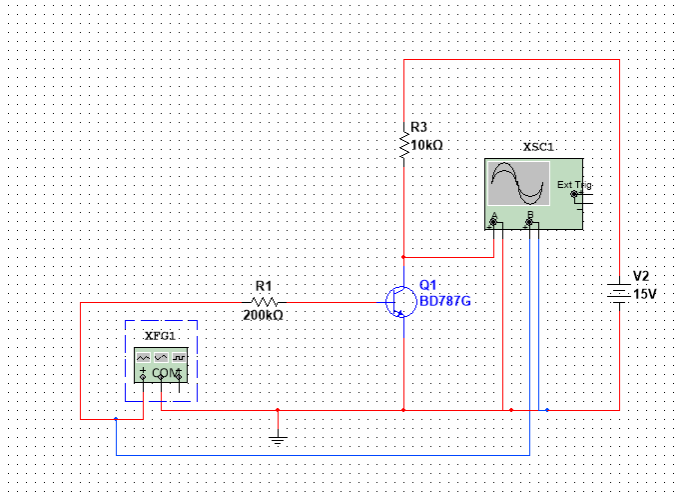
仿真：

三极管输出伏安特性曲线测量电路图：



（因实验中所用的 D882 三极管在仿真软件中没有，经查资料发现 BD787G 与 D882 的参数相近，因此在此仿真时用 BD787G 代替 D882）

反向器实验电路图：



IV 分析仪直接测量三极管伏安特性：

