

电子线路实验报告

陈祎睿 电子信息 2023302121299

2024 年 12 月 13 日

1 实验原理

1.1 二极管伏安特性实验

二极管是一种只允许电流单向流动的半导体器件。

二极管具有单向导电性：二极管由 P 型和 N 型半导体材料构成，当正向偏置（P 端接正，N 端接负）时，二极管导通；反向偏置时，二极管截止。

在二极管导通的状态下，通过改变整体电路的电压，测量二极管的导通压降以及导通电流。二极管理论伏安特性曲线如下图。

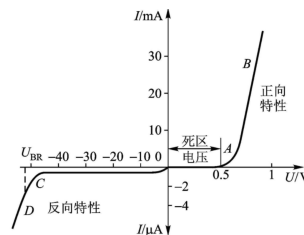


图 1: 二极管理论伏安特性曲线图

1.2 三极管放大电路的仿真与设计

三极管，也称为晶体三极管或双极型晶体管，是一种用于放大或开关电子信号的半导体器件。它由三个主要部分组成：发射极、基极和集电极。三极管的工作原理基于半导体材料的能带结构和 PN 结的特性。

三极管共射放大电路是最基本的三极管放大电路之一，它以三极管的发射极为输出信号的公共端而得名。这种电路配置因其简单性和良好的高频

特性而被广泛应用于各种电子设备中。

共射放大电路主要由以下部分组成：

1. **三极管**：作为放大器的核心，可以是 NPN 型或 PNP 型。
2. **偏置电路**：包括基极偏置电阻 (R_b) 和发射极偏置电阻 (R_e)，用于设置三极管的工作点，确保三极管在放大区工作。
3. **输入信号源**：连接在基极和地之间，提供需要放大的输入信号。
4. **负载电阻**：连接在集电极和电源之间，作为放大电路的负载。
5. **直流电源**：提供三极管工作所需的直流电压。

该电路具有高输入阻抗、低输出阻抗、优良的放大效果、较好的频率响应的特点，因而广泛应用于各类电子设备当中。

2 仪器设备

2.1 二极管伏安特性实验

学生电源、二极管、万用表、电阻

2.2 三极管放大电路的仿真与设计

Tina-TI 电路仿真软件、三极管、万用表、10 μ F 电容、100 μ F 电容、不同阻值的电容，信号源、示波器、学生电源。



图 2: 仪器与试验箱

3 实验步骤

3.1 二极管伏安特性实验

使用串联电路来，保持电路中通过的电流处处相等，在电路中串联一个保护电阻，以防止电路中的电流过大，最终导致二极管损坏。测量电流值时，将万用表调至电压挡串联在电路中。测量电压时，将万用表调至电流挡并联在二极管的两端。仿真电路图如图 3。

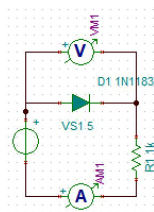


图 3: 二极管伏安特性实验仿真电路图

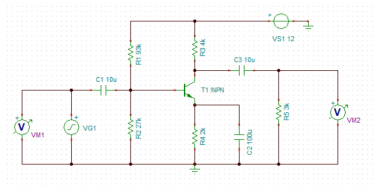


图 4: 三极管共射级放大电路仿真电路图

仿真得到实验的静态工作点和动态放大特性，设定直流输入为 12V，交流输入为 5mv，频率 1000Hz。仿真结果如图 5。

使用光标测量两波形的顶点，得到 $A1=-55$

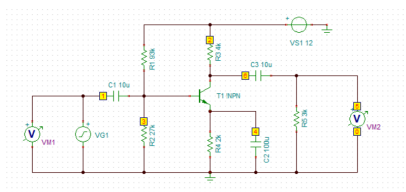


图 5: 直流结果分析节点示意图

电压/电流	
I_R1[1,6]	888.99uA
I_R2[0,2]	0A
I_R3[3,1]	-101uA
I_R4[0,3]	-96.56uA
I_R5[0,4]	-993.44uA
I_VS1[5,0]	0A
I_VS1[1,0]	-999.99uA
VP_1	12V
VP_2	0V
VP_3	2.61V
VP_4	1.97V
VP_5	0V
VP_6	6.44V

图 6: 直流通路仿真结果表

由于实验室条件限制，没有 27000Ω、93000Ω 和 4000Ω 的电阻，所以在尽可能不影响电路性能的情况下，更换电阻进行实验。将 27000Ω 电阻更

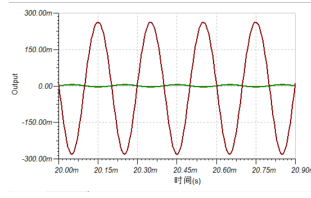


图 7: 交流通路输入输出仿真波形图

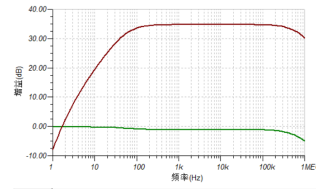


图 8: 交流通路频率增益曲线图

换为 30000Ω 电阻, 将 93000Ω 电阻更换为 100000Ω 电阻, 将 4000Ω 电阻更换为 3900Ω 电阻, 进行电路拼装与实验。

将静态工作点做戴维南转化, 其中 $V_s = V_{cc} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 2.7V$, $R' = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 20.925\Omega$ 。所以有

$$V_s = I_{BQ} \cdot R' + 0.7 + (\beta + 1)I_{BQ},$$

解得, $I_{BQ} = 0.003mA$, $I_{CBQ} = \beta I_{BQ} = 0.965mA$, 所以, I_{BQ} 仿真与工程计算之间的误差 $\delta = \left(\frac{0.003 - 0.00293349}{0.003} \right) \times 100\% = 2.2\%$, 可见, 仿真分析在一定程度上与工程近似计算相一致。

由此可知, 电压增益 $A_v = \frac{U_2}{U_1} = \frac{384.267}{6.463} = 59.46$, 也可由示波器上的波形图粗略计算 $A_v = \frac{V_{ppb}}{V_{ppa}} = \frac{493.000}{8.963} = 55.00$ 。由于手动滑动光标, 很难让其停在峰值位置, 所以用仿真的波形图测出的电压增益没有用万用表测出的增益准确。所以仿真的电压增益我们取 $A_v = 59.46$ 。

$$r_{be} = 200 + \frac{(\beta + 1)V_T}{I_{EQ}} = 8867\Omega,$$

$$V_i = i_b \cdot r_{be}, \quad V_o = -\beta i_b \left(\frac{R_c \parallel R_L}{R_c + R_L} \right),$$

故求得

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\beta \left(\frac{R_c \parallel R_L}{R_c + R_L} \right)}{r_{be}} = -69.3.$$

可见, 工程计算与仿真分析的增益误差 $\delta = \left(\frac{61.29 - 59.46}{69.3} \right) \times 100\% = 2.99\%$, 比较接近。

4 实验数据

4.1 二极管伏安特性实验

表 1: 二极管伏安特性实验数据记录表

V_{DD}	0.37	0.52	0.635	0.648	0.672	0.693	0.709
I_D	0.000012	0.00031	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
V_{DD}	0.723	0.734	0.745	0.756	0.778	0.786	0.801
I_D	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
V_{DD}	0.822	0.839	0.847	0.863	0.872	0.687	0.911
I_D	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019

4.2 三极管放大电路的仿真与设计

4.2.1 静态测量

见表 2

表 2: 三极管放大电路静态测量数据记录表

V_{CQ}	V_{EQ}	V_{BQ}	V_{CEQ}	V_{BEQ}	I_{CQ}
12.12V	2.34V	2.7V	9.28V	0.621V	1.23mA

4.2.2 动态测量

见表 3、4、5、6（在第 7 页），图 9

表 3: 三极管放大电路电压增益数据记录表

测试项目	名目	测试值
输入	f(Hz)	1000
	V_i (mV)	4.4
输出	V_i (mV)	297.5
	A_v	-69.3



图 9: 示波器输出波形图

表 4: 三极管放大电路输入电阻数据记录表

项目	测试值	说明
$V_i(\text{mV})$	4.4	输入端信号幅度
$V_s(\text{mV})$	5	信号源信号幅度
$R_s(\Omega)$	500	内阻
$R_i(\Omega)$	3628.1	计算输入电阻

表 5: 三极管放大电路输出电阻数据记录表

项目	测试值	说明
$V_o(\text{mV})$	291.4	负载开路输出大小
$V_{OL}(\text{mV})$	135.2	带负载输出大小
$R_L(\Omega)$	300	测量负载电路
$R_o(\Omega)$	3589.3	计算输出电阻

表 6: 二极管测试通频带数据记录表

f(kHz)	0.05	0.1	0.2	...	1.0	...	30	50	81.2
V _o	435	531	595	...	635	...	535	498	435
A _v	43.2	57.6	60.2	...	69.3	...	61.3	45.1	43.2

5 实验数据分析

5.1 二极管伏安特性实验

绘制二极管伏安特性曲线。曲线图如图 10。

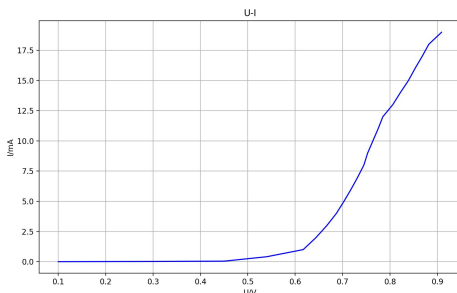


图 10: 二极管伏安特性曲线图

5.2 三极管放大电路的仿真与设计

实验测试的得到的静态工作点数据与模拟得到的理论数据接近，输出电压波动较小，放大效果明显，放大倍数为 69.3，与实验要求的 50 接近，实验基本成功。

6 实验思考与分析

6.1 在负载确定且输出阻抗不宜太大时，提高电压增益有什么方法？

可以提高电源电压或者减小 R_{b1} 和 R_{b2} ， R_e 的值。由

$$A_s = -\beta \left(\frac{R_c // R_L}{r_{be}} \right),$$

当 R_c 和 R_L 确定时,可以减小 r_{be} 的值,增大静态工作时 I_{BQ} 的值。提高电源电压 V_{cc} 或者减小 R_{b1} 和 R_{b2} 可以提高 I_{BQ} 的值。

6.2 增大 R_c 可有效提升电压增益,但容易引起什么失真?

容易引起饱和失真。 R_c 增大会引起集电极电压下降,此时 R_c 与 V_{cc} 的伏安曲线整体向右偏,静态工作点右移,容易引起饱和失真。

6.3 设计电路输入信号的最大振幅大约为多少?(提示:不引起失真)

电路输入信号最大振幅 V_m 为

$$V_m = \min\{V_{CEQ} - V_{CES}, I_{CQ} \cdot R'_c\},$$

取 $V_{CES} = 0.6V$, $V_{CEQ} - V_{CES} = 8.63V$, $I_{CQ} \cdot R'_c = 1.368V$ 。所以,最大振幅约为 $1.368V$ 。

6.4 调整输入信号的振幅(1mv 10mv),观察输出信号正、负振幅的差异,以及差异的变化趋势,思考差异产生的原因。

负振幅绝对值小于正振幅绝对值,随着信号振幅的增大这种趋势越来越明显,原因是随着信号的增大,开始出现饱和失真,信号越大,负振幅逐渐被 V_{CES} 截断,正负振幅差距不断增大。