

模拟电子技术实验

3.1 共射放大电路

知识目标

- (1) 能够通过公式、文字描述共射放大电路。
- (2) 能够科学记录、分析、整理实验数据。

技能目标

- (1) 能够正确选择实验仪器及元器件材料。
- (2) 能够根据实验原理进行实验。
- (3) 能够安全、正确地使用仪器、仪表。

3.1.1 实验目的

- (1) 理解并掌握晶体管放大电路的组成、基本原理和放大条件。
- (2) 掌握放大电路静态工作点的调节与测量方法。
- (3) 掌握单级、多级放大电路主要动态性能指标的测量及相关计算方法。

3.1.2 实验流程

实验准备及教学流程如图 3-1 所示。

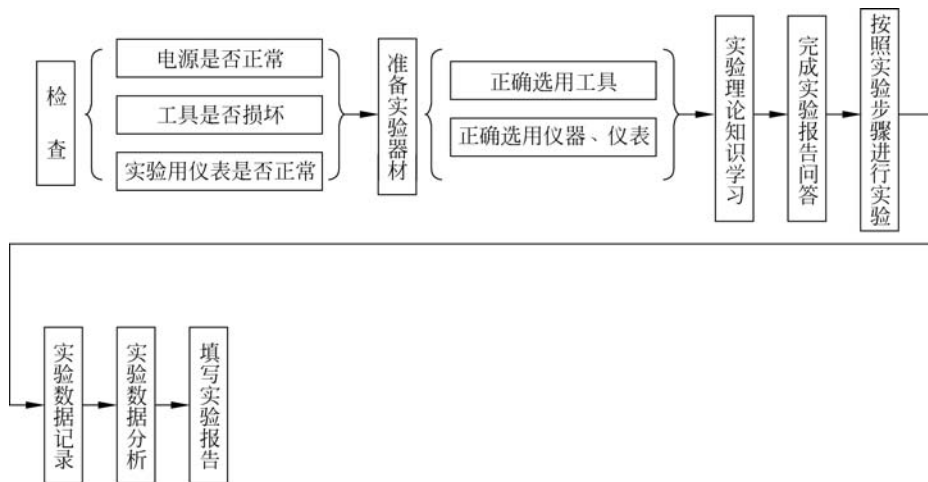


图 3-1 实验准备及教学流程框图

3.1.3 仪表器材设备

所需仪表设备、器材、工具、材料如表 3-1 所示。

表 3-1 器材清单

设备、器材、工具、材料	数量	设备、器材、工具、材料	数量
计算机	1 台	导线	1 套
NI ELVIS II + 实验平台	1 台	电路实验套件	1 套
万用表	1 台	模拟电子技术课程实验套件	1 套

3.1.4 实验原理

1. 晶体管简介

晶体管(Transistor)是一种固体半导体器件,具有检波、整流、放大、开关、稳压、信号调制等多种功能。晶体管作为一种可变电流开关,能够基于输入电压控制输出电流。与普通机械开关(如继电器、交换机)不同,晶体管利用电信号来控制自身的开合,而且开关速度可以非常快,实验室中的切换速度可达 100GHz 以上。

2. 共射放大电路的基本组成

共射放大电路实验原理图如图 3-2 所示,当在放大电路输入端输入信号 U_i 后,在电路输出端便可得到与 U_i 相位相反、幅值被放大的输出信号 U_o ,实现了电压放大。

晶体管 VT 是放大器件,用基极电流 i_b 控制集电极电流 i_c ,即当晶体管工作在放大区时, $i_c = \beta i_b$ 。

电源 V_{CC} 使晶体管满足发射结正偏、集电结反偏的条件,让晶体管处在放大状态。同时也是放大电路的能量来源,提供电流 i_b 和 i_c 。

基极偏置电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 组成基极分压电路,使晶体管有一个合适的工作点。

集电极负载电阻 R_c 使集电极电流 i_c 的变化转换为电压的变化,实现电压放大。

射极旁路电容 C_e 、短路 R_{e4} ,减小输出电阻。

输入输出耦合电容 C_1 、 C_2 用来隔绝直流,传递交流信号,起到交流耦合的作用。

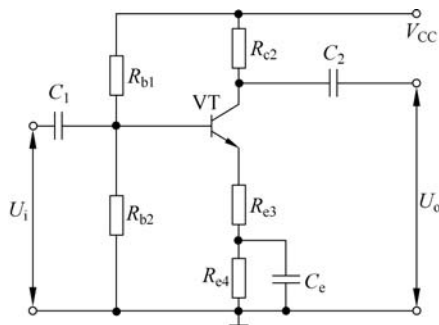


图 3-2 共射放大电路实验原理图

3. 电路放大条件

放大电路的本质是利用晶体管的基极对集电极的控制作用来实现的。放大的前提是晶体管工作在放大区,即发射结正偏、集电结反偏。放大电路必须选择合适的静态工作点,使晶体管工作在放大区,静态工作点过低会出现截止失真,过高会出现饱和失真。

4. 多级放大电路

通常放大电路的输入信号都是很微弱的信号,一般为毫伏或者微伏级,为了推动负载工作,通常需要经过多级放大。多级放大的原理是将多个放大电路串接起来,第一级放大电路的输出作为第二级放大电路的输入,多级放大电路的等效放大倍数等于各级放大电路放大倍数的乘积。

在多级放大电路中,每两个单级放大电路之间的连接称为耦合,阻容耦合是常见的耦合方式。前级放大电路的输出串接电阻、电容接入后级放大电路的输入,起到了隔离直流、传递交流的作用,两级放大电路的静态工作点互不影响。

3.1.5 实验任务及步骤

1. 单级共射放大电路

1) 调节并测量放大电路的静态工作点

将开关的设置调节为 S_1 通、 S_2 断、 S_3 通、 S_4 断、 S_5 断、 S_6 断、 S_7 断、 S_8 断、 S_9 断,此时实验板上第一级放大电路的连接如图 3-3 所示。

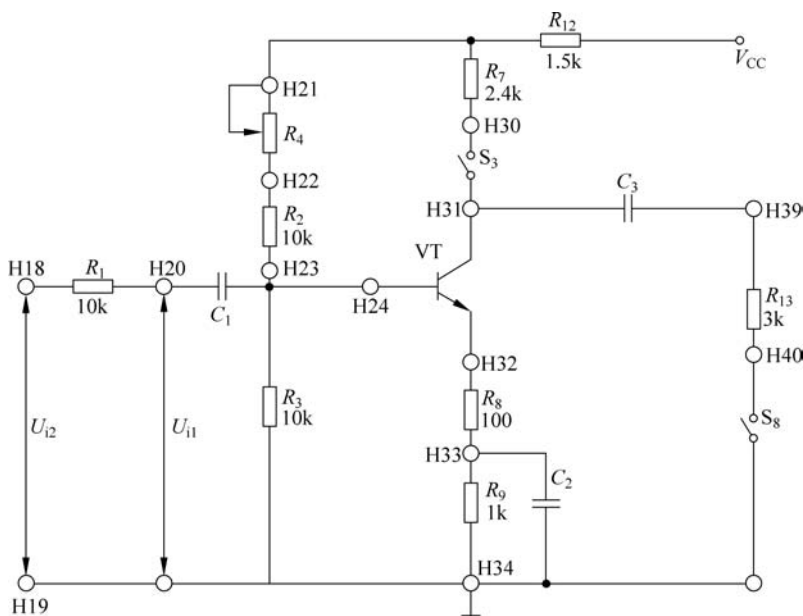


图 3-3 第一级放大电路原理图

(1) 使用导线分别连接 NI ELVIS II + 主机上万用表接口的 A、COM、V 和实验板上的 A、COM、V 接线座。使用 BNC to BNC 线连接 ELVIS 主机的示波器 CH0 和实验板上的 CH0, 连接示波器 CH1 和实验板上的 CH1。

(2) 使用导线连接该实验模块的电源, H51 的 V_{CC} 与实验板上方的 SUPY+ 相连, H51 的接地端与上方的 GND 相连。

(3) 断开开关 S_3 , 使用导线连接测量电路, H30 接 A, c1 接 COM、AI0+, b1 接 AI1+,

e1 接 AI2+, 如图 3-4 所示。

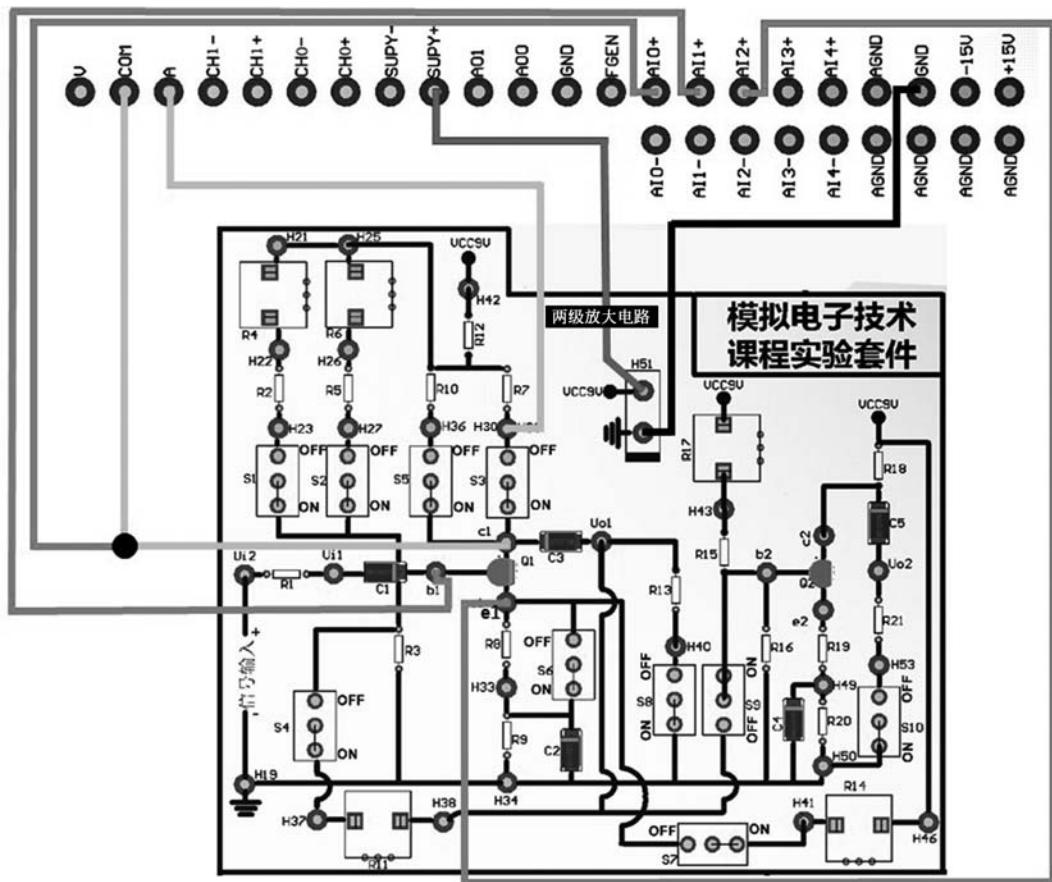


图 3-4 单极共射放大电路——静态工作点

(4) 为 NI ELVIS II+ 实验平台上电, 在计算机中打开【ELVIS 模电实验程序】文件下的“ELVIS 模电实验板.lvproj”项目浏览器, 如图 3-5 所示, 选择“实验 1 基尔霍夫定律”实验程序并运行。

(5) 调节正电源输出为 9V。调节可变电阻 R_4 , 使 $U_{ce} = 4.5V$, 并将其他参数记录到表 3-2 中。

表 3-2 参数记录表

测量值				计算值		
U_e/V	U_b/V	U_c/V	I_c/mA	I_b/mA	U_{ce}/V	U_{be}/V

2) 电压放大倍数的测量

放大器的电压放大倍数是指在输出电压波形不失真时, 输出电压 U_o 与输入电压 U_i 振幅或有效值之比, 即

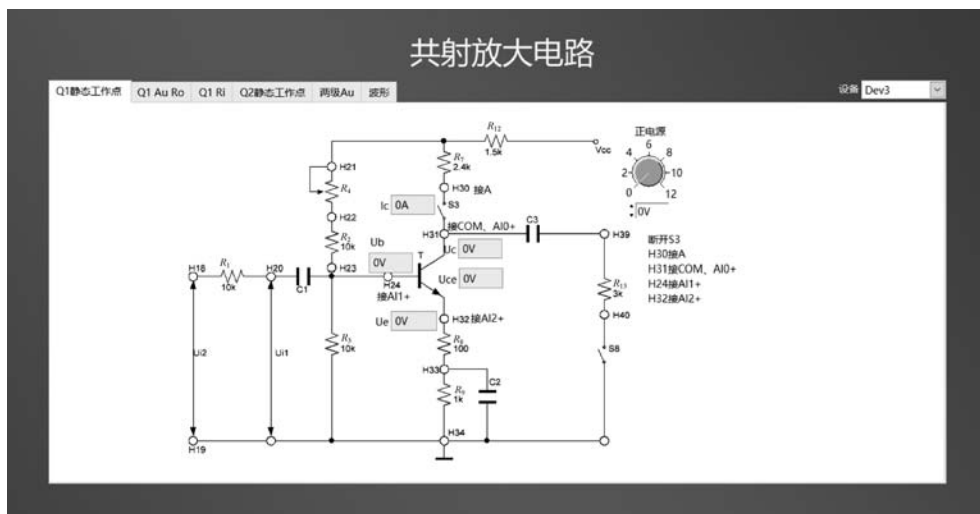


图 3-5 共射放大电路实验程序界面

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(1) 断开 NI ELVIS II 右上方的开关, 断开除 H51 外其他导线的连接。

使用导线将 U_{i1} 和实验板上方的 FGEN、AI0+ 相连, U_{o1} 和 AI1+ 相连, 如图 3-6 所示。

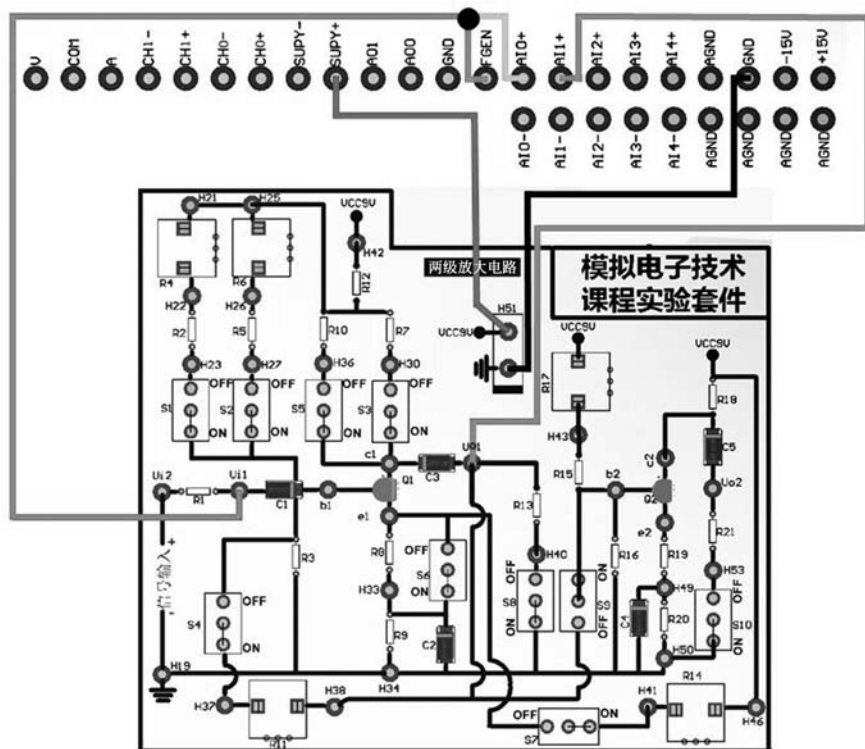


图 3-6 单级共射放大电路——电压放大倍数测量

(2) 打开 NI ELVIS II 右上方开关为实验板上电,依次在实验程序中控制信号发生器输出 $U_{PP}=100\text{mV}$ 、 $U_{PP}=200\text{mV}$ 、 $f=1\text{kHz}$ 的正弦波。

(3) 观察输入输出的波形,将其有效值记录在表 3-3 中并计算电压放大倍数,并在图 3-7 中绘制 $U_{PP}=200\text{mV}$ 时的输入输出波形,完成表 3-3 的填写。

表 3-3 参数记录表

U_i/mV	U_o/mV	A_u



图 3-7 波形图

3) 输出电阻的测量

输出电阻 R_o 是指从放大器的输出端看进去的等效电阻,用来衡量放大器的带负载能力。测量放大器输出电阻的原理如图 3-8 所示,分别测量放大器空载时输出电压 U_o 和带负载输出电压 U_L ,则输出电阻 R_o 的计算式为

$$R_o = \frac{U_o - U_L}{U_L} \cdot R_L$$

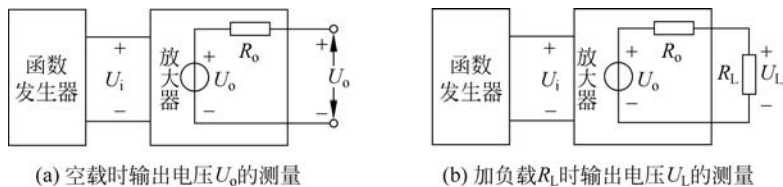


图 3-8 测量放大器输出电阻的原理

(1) 断开负载开关 S_8 ,在实验程序中控制信号发生器输出 $U_{PP}=200\text{mV}$ 、 $f=1\text{kHz}$ 的正弦波。

(2) 观察放大器输出波形是否失真,如输出波形出现失真,调节函数发生器的输出电压,使输出波形不失真。记录放大器空载时输出电压的有效值 U_o 。

(3) 闭合负载开关 S_8 ,保持函数信号发生器的输出不变,观察 AI1 的波形,记录放大器带负载时的输出电压有效值 U_L 。

(4) 已知负载电阻 $R_{L3} = 3\text{k}\Omega$, 计算放大器的输出电阻, 完成表 3-4 的填写。

表 3-4 放大器的输出电阻

测 量 值		计 算 值
空载输出电压 U_o/V	带载输出电压 U_L/V	输出电阻 R_o/Ω

4) 输入电阻的测量

输入电阻 R_i 是指从放大器的输入端看进去的等效电阻, 输入电阻的大小影响到放大器从信号源或前级放大电路获取的电流大小。测量放大器输入电阻的原理如图 3-9 所示, 串入一个电阻 R_s , 分别测量函数发生器的输出波形电压有效值和放大器侧输入波形电压有效值, 则放大器输入电阻 R_i 的计算式为

$$R_i = \frac{U_{i1}}{U_{i2} - U_{i1}} \cdot R_s$$

断开 NI ELVIS II 右上方的开关, 断开除 H51 外的其他连线。

用导线连接 U_{i2} 和 FGEN、AI0+, U_{i1} 接 AI1+, U_{o1} 接 AI2+, 如图 3-9 所示。

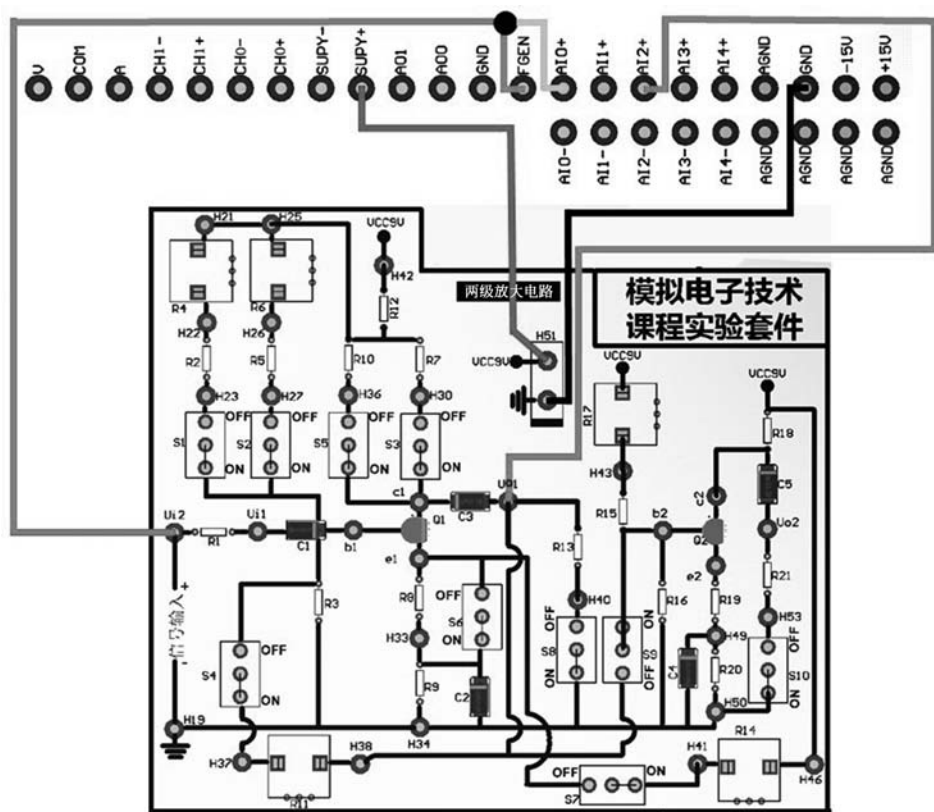


图 3-9 单级共射放大电路——输入电阻的测量

(1) 打开 NI ELVIS II 右上方开关为实验板并加电, 在实验程序中控制信号发生器输出 $U_{pp} = 200\text{mV}$, $f = 1\text{kHz}$ 的正弦波。观察输出波形是否失真, 如输出波形出现失真, 调

节函数发生器的输出电压,使输出波形不失真。

(2) 观察 AI0 和 AI1 的波形,将其有效值记录在表 3-5 中,并计算放大器的输入电阻,完成表 3-5 的填写。

表 3-5 放大器的输入电阻

测 量 值		计 算 值
U_{i1}/V	U_{i2}/V	输入电阻 R_i/Ω

5) 切换集电极电阻

断开 S_3 、闭合 S_5 ,将集电极电阻切换为 $R_{10}=6.2k\Omega$,重复本小节步骤 1~步骤 4,并将数据记录在表 3-6~表 3-9 中,比较集电极电阻值大小对放大电路主要指标的影响。

表 3-6 数据记录表一

R_c	测 量 值				计 算 值		
	U_e/V	U_b/V	U_c/V	I_c/mA	I_b/mA	U_{ce}/V	U_{be}/V
2.4k Ω							
6.2k Ω							

表 3-7 数据记录表二

$R_c/k\Omega$	U_i/mV	U_o/mV	A_u
2.4			
6.2			

表 3-8 数据记录表三

$R_c/k\Omega$	测 量 值		计 算 值
	空载输出电压 U_o/V	负载输出电压 U_L/V	输出电阻 R_o/Ω
2.4			
6.2			

表 3-9 数据记录表四

$R_c/k\Omega$	测 量 值		计 算 值
	U_{i1}/V	U_{i2}/V	输入电阻 R_i/Ω
2.4			
6.2			

2. 两级共射放大电路

1) 调节并测量放大电路的静态工作点

将开关的设置调节为 S_1 通、 S_2 断、 S_3 通、 S_4 断、 S_5 断、 S_6 断、 S_7 断、 S_8 断、 S_9 断、 S_{10}

断,此时实验板上放大电路的连接如图 3-10 所示。

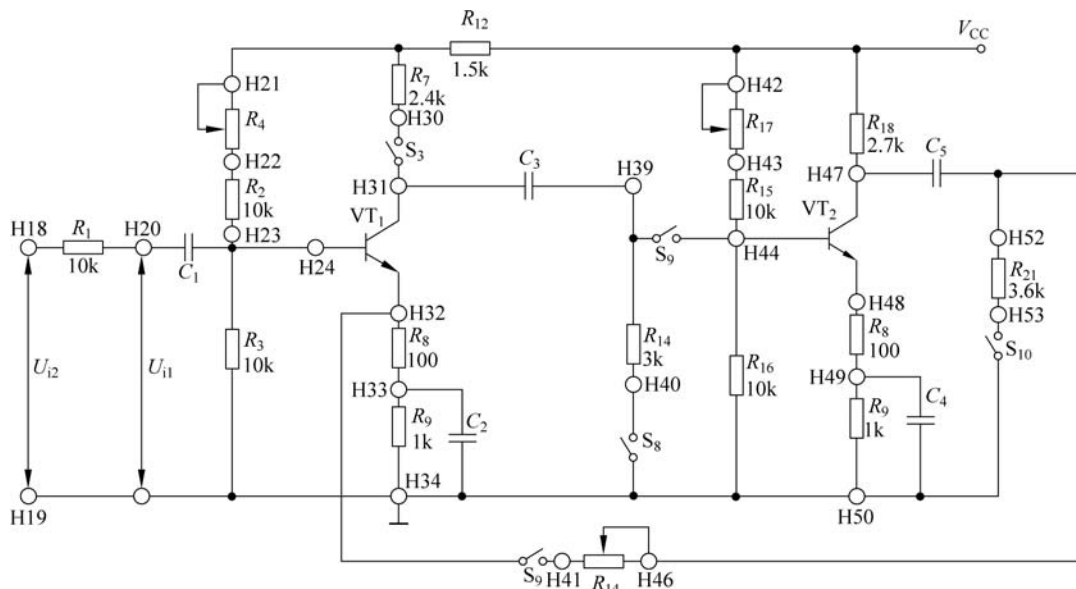


图 3-10 两级共射放大电路原理

(1) 使用导线连接该实验模块的电源, H51 的 V_{CC} 与实验板上方的 SUPY+ 相连, H51 的接地端与上方的 GND 相连。为 ELVIS 实验平台上电, 运行实验程序。

(2) 参照 3.1.5 小节步骤 1 中调整并测量第一级放大电路的静态工作点。

(3) 断开 NI ELVIS II + 右上角开关, 断开除 H51 以外的其他连线。连接 c2 和 AI0+、b2 和 AI1+、e2 和 AI2+。

(4) 将实验程序选项卡切换到 Q_2 静态工作点选项卡, 调节可变电阻 R_{17} 使得 $U_{ce2} \approx 4V$, 并将静态工作点及相关计算值填入表 3-10 中。

表 3-10 静态工作点数据记录

晶体管	测 量 值				计 算 值	
	U_e/V	U_b/V	U_c/V	I_c/mA	U_{ce}/V	U_{be}/V
第一级						
第二级						

2) 电压放大倍数的测量

放大器的电压放大倍数是指在输出电压波形不失真时, 输出电压 U_o 与输入电压 U_i 振幅或有效值之比, 即

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

断开 NI ELVIS II + 右上方的开关, 使用导线将 U_{i2} 和实验板上方的 FGEN 和 AI0+ 相连、 U_{o1} 和 AI1+ 相连、 U_{o2} 和 AI2+ 相连, 如图 3-11 所示。

(1) 打开 NI ELVIS II + 右上方开关为实验板上电, 在实验程序中控制信号发生器输出 $U_{pp}=50mV$, $f=1kHz$ 的正弦波。

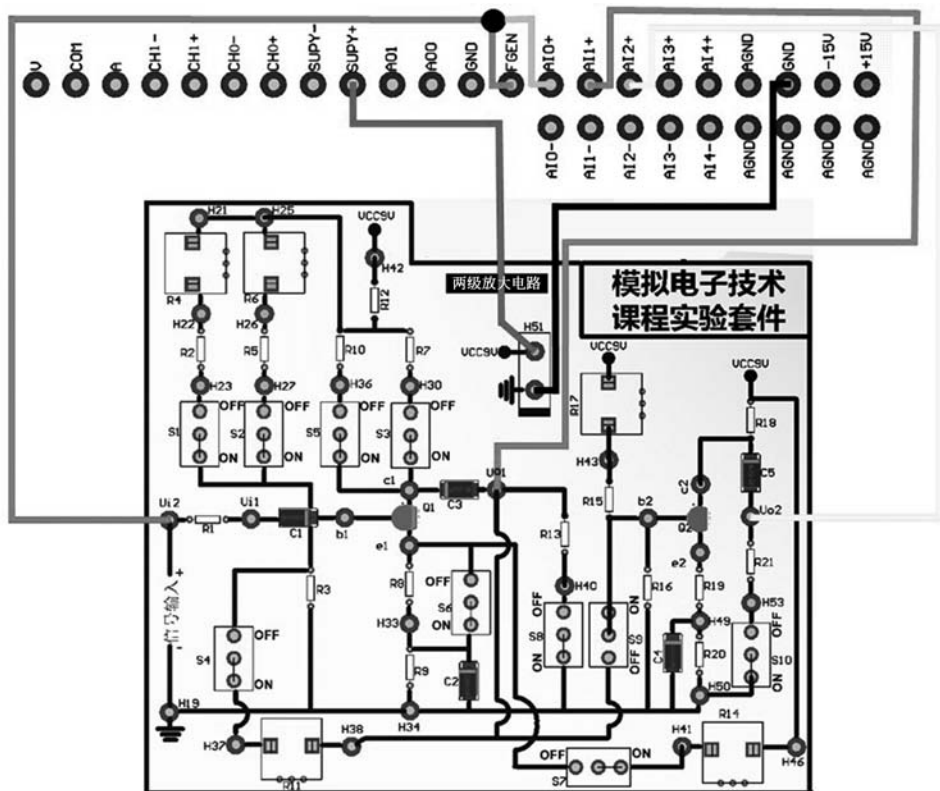


图 3-11 两级共射放大电路——电压放大倍数测量

(2) 观察各通道的波形,如果输出波形失真,应适当调小信号发生器的输出幅值。测量输入电压 U_{i1} 、第一级输出第二级输入电压 U_{o1} 、第二级输出电压 U_{o2} ,将其有效值记录在表 3-11 中并计算各级电压放大倍数 A_{u1} 、 A_{u2} 和两级放大电路的总放大倍数 A_u ,验证总放大倍数是否等于各级放大倍数的乘积,完成表 3-11 的填写。

表 3-11 验证总放大倍数是否等于各级放大倍数

负载	测量输入、输出电压			计算放大倍数		
	U_{i1}/mV	U_{o1}/mV	U_{o2}/mV	A_{u1}	A_{u2}	A_u
空载						
负载						

通过上面的实验以及所得到的实验数据分析,可以得到结论: _____

3.1.6 实验注意事项

(1) 严格按照 NI ELVIS II 实验平台使用要求进行实验,接好电路所有元器件后,应认真检查电路,确认无短路情况,指导教师检查后才可接通电源。

(2) 正确地把测量仪表接入电路:电压表并联、电流表串联接入电路。在测量过程中要注意及时调整仪表量程或换挡。