

实验六 差动放大器

实验目的

- 1 加深理解差动放大器的工作原理。
- 2 学习差动放大电路主要特性参数的测试方法。
- 3 熟悉基本差动放大电路与具有镜像恒流源差动放大电路的性能差别。



实验原理

◆ 直接耦合式放大电路的零点漂移现象：

直接耦合式放大电路中，即使将输入端短路，输出也会有变化缓慢的输出电压。这种输入电压为零而输出电压不为零且缓慢变化的现象称为**零点漂移**现象。

◆ 零点漂移的原因：

主要是晶体三极管的参数受温度的影响，所以零点漂移也称为温度漂移，简称**温漂**。



实验原理—电路结构特点

典型差动放大电路由两个元件参数相同的基本共射放大电路组成。

1、电路结构对称

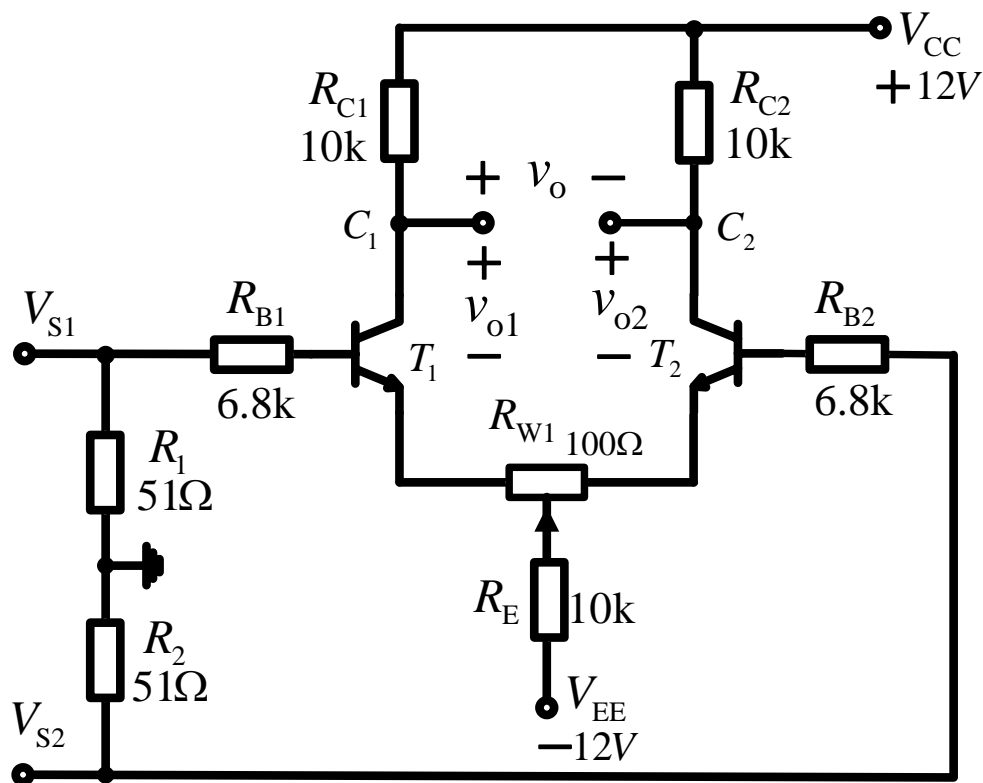
2、有两个输入端

{ 单端输入
双端输入

3、有两个输出端

{ 单端输出
双端输出

4、采用正负电源供电

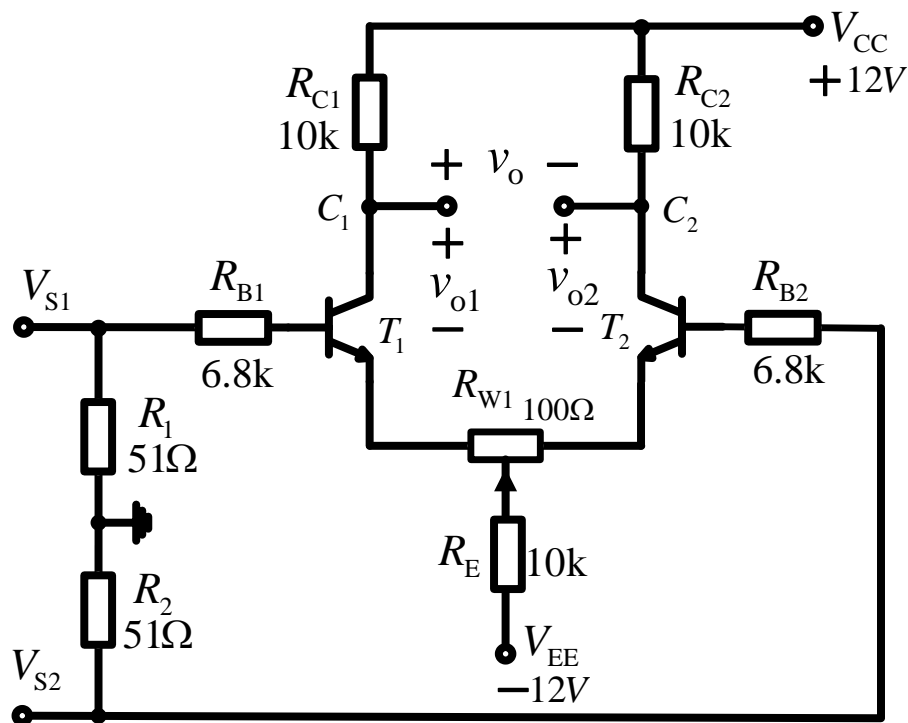




实验原理—抑制温漂的原理

1、利用电路对称性抑制温漂

$$\begin{aligned} T \uparrow &\longrightarrow I_{CQ1} = I_{CQ2} \uparrow \\ &\longrightarrow V_{CQ1} = V_{CQ2} \downarrow \\ &\longrightarrow V_o = V_{CQ1} - V_{CQ2} = 0 \end{aligned}$$



2、利用 R_E 负反馈作用抑制温漂



实验原理

◆ 差动放大器抑制温漂的原理

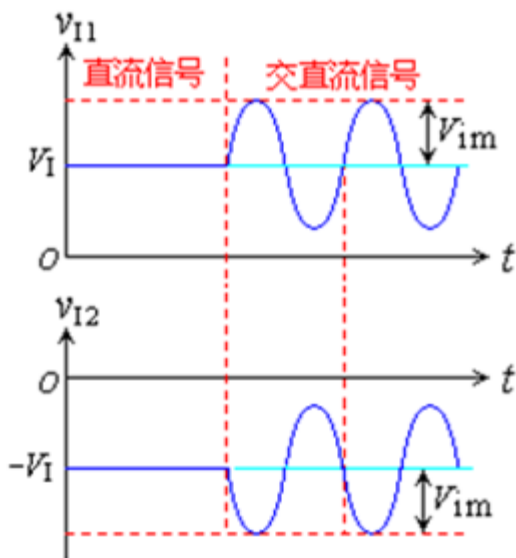
由于电路的对称性，温度的变化对 T_1 、 T_2 两管组成的左右两个放大电路的影响是一致的，相当于给两个放大电路同时加入了大小和极性完全相同的输入信号。因此，在电路完全对称的情况下，两管的集电极电位始终相同，差动放大电路的输出为零，不会出现普通直接耦合放大电路中的漂移电压，可见，差动放大电路利用电路对称性抑制了零点漂移现象。

◆ 抑制温度漂移的方法：

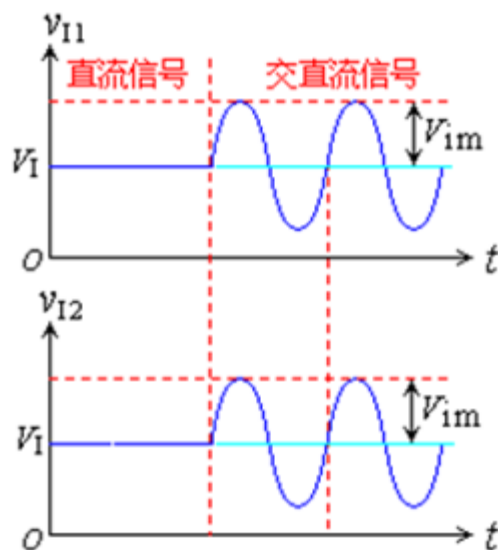
- ① 在电路中引入直流负反馈；
- ② 采用温度补偿的方法；
- ③ 采用特性相同的三极管，使它们的温漂互相抵消，构成“差动放大电路”。

实验原理—差模信号与共模信号

是指在两个输入端加上幅度相等，极性相反的信号。



差模信号



共模信号

是指在两个输入端加上幅度相等，极性相同的信号。

差模信号和共模信号示意图 6-1

任意输入的信号： v_{i1} ， v_{i2} ，都可分解成差模分量和共模分量：

$$v_{i1} = v_{ic} + v_{id}$$

$$v_{i2} = v_{ic} - v_{id}$$



实验原理—差模性能分析

R_L 差模分析的处理:

R_L 一分为二, 各与 R_C 并联

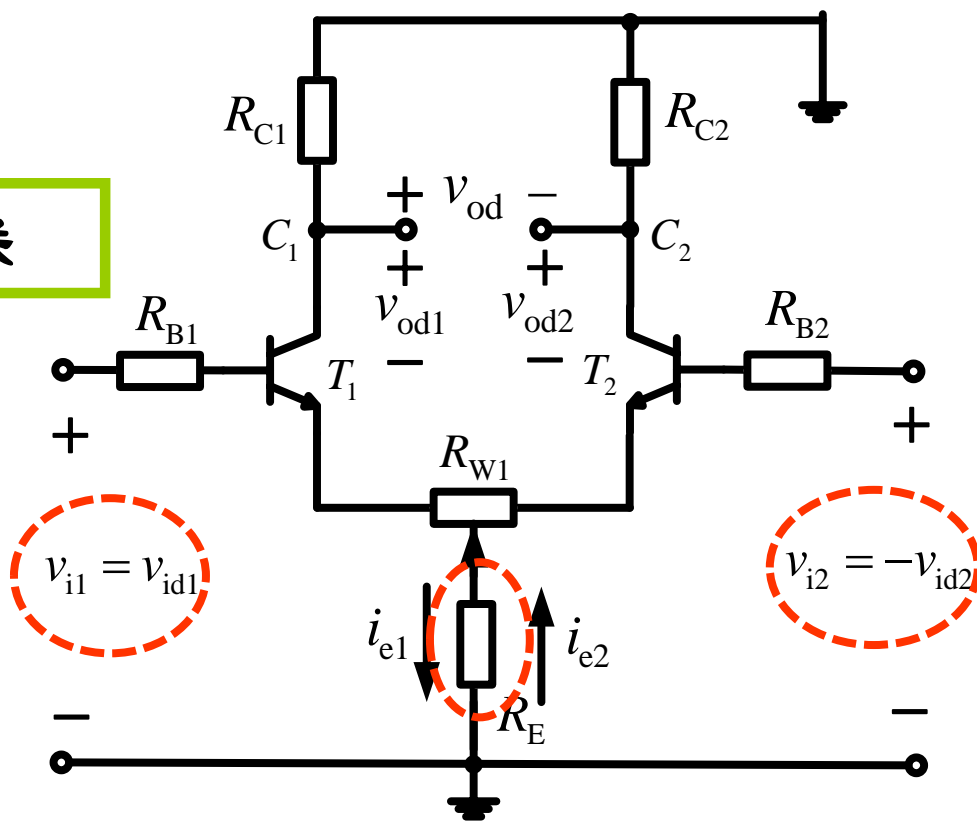
R_E 对差模信号作用:

$$\left. \begin{array}{l} v_{id1} \rightarrow i_{b1}, i_{c1} \\ v_{id2} \rightarrow i_{b2}, i_{c2} \end{array} \right\}$$

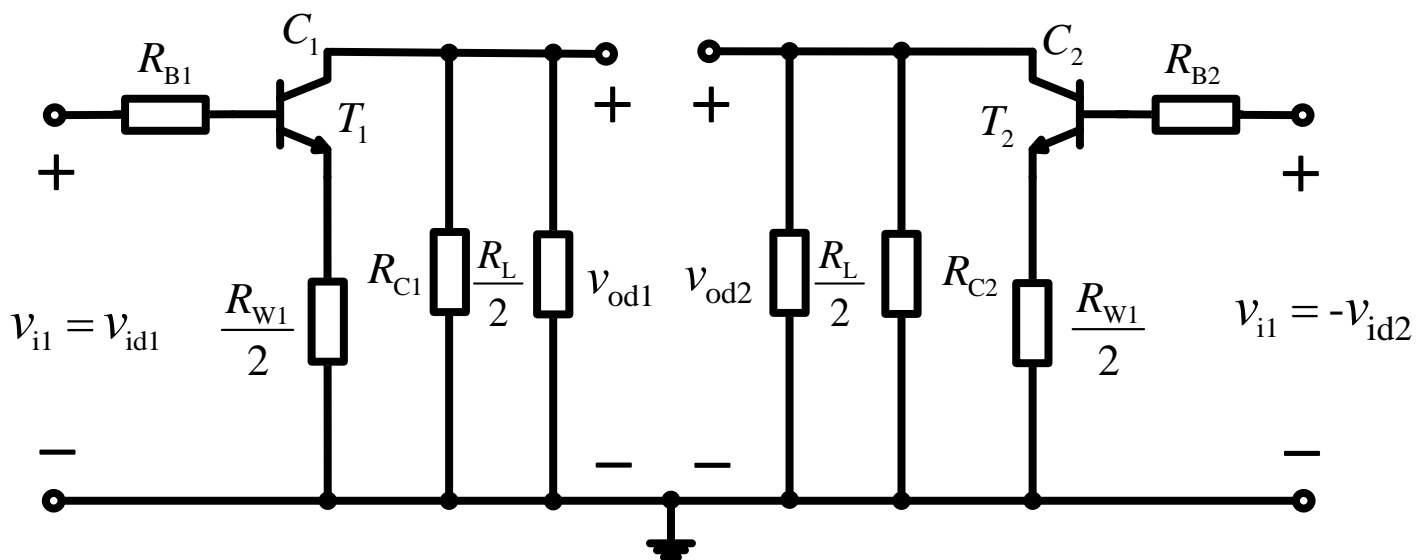
$$i_{c1} = -i_{c2} \quad i_e = i_{e1} + i_{e2} = 0$$

$$v_e = 0$$

R_E 对差模信号不起作用, 可视为短路。



实验原理—差模输入时的交流通路



双端输出差模电压增益为

$$A_{vd} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{v_{od1} - v_{od2}}{v_{id1} - v_{id2}} = \frac{v_{od1}}{v_{id1}} = - \frac{\beta(R_C // \frac{1}{2}R_L)}{R_{B1} + (1 + \beta)R_{W1}/2 + r_{be}}$$

单端输出差模电压增益为

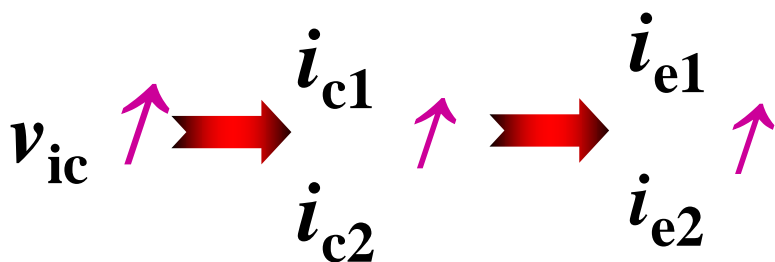
$$A_{vd} = \frac{v_{od1}}{v_{id}} = \frac{v_{od1}}{2v_{id1}} = - \frac{\beta(R_C // \frac{1}{2}R_L)}{2(R_{B1} + (1 + \beta)R_{W1}/2 + r_{be})}$$

实验原理—共模输入性能分析

R_L 共模分析的处理:

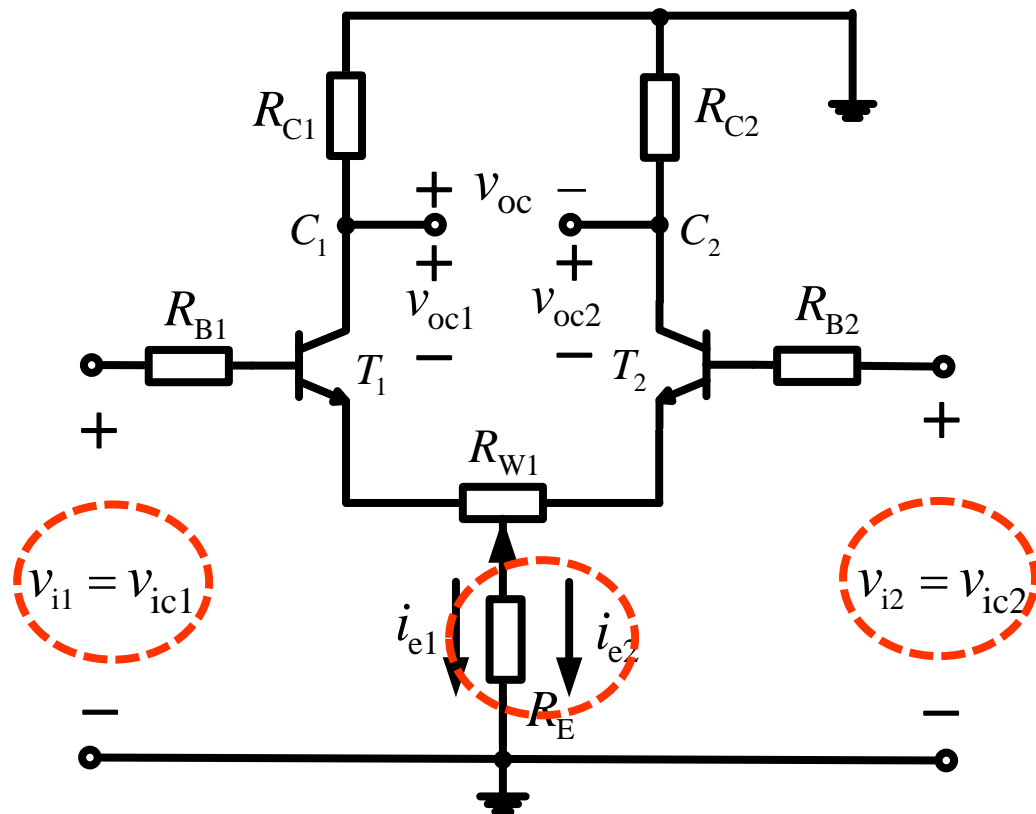
R_L 等效为开路线

R_E 对共模信号作用:



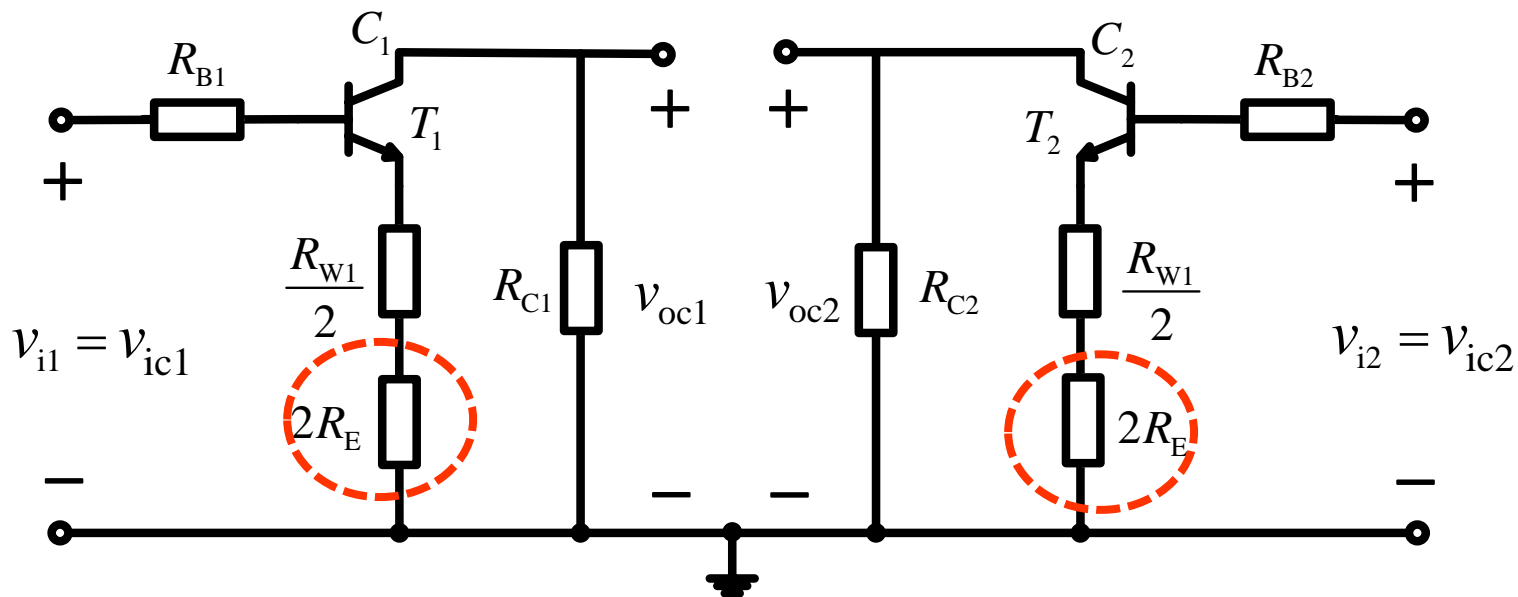
R_E 对共模信号起作用，并且 $i_e = 2i_{e1}$

对共模信号而言，相当于接入 $2R_E$ 的电阻





实验原理—共模输入时的交流通路



双端输出共模电压增益为

$$A_{vc} = \frac{v_{oc1} - v_{oc2}}{v_{ic}} = 0$$

单端输出共模电压增益为

$$A_{vc} = \frac{v_{oc1}}{v_{ic1}} = - \frac{\beta(R_C // R_L)}{R_{B1} + r_{be} + (1 + \beta)R_{W1} / 2 + 2(1 + \beta)R_E}$$



实验原理—共模抑制比

共模抑制比 K_{CMR} 是差分放大器的一个重要指标。

$$K_{\text{CMR}} = \left| \frac{A_{\text{vd}}}{A_{\text{vc}}} \right| \quad \text{或} \quad K_{\text{CMR}} = 20 \lg \left| \frac{A_{\text{vd}}}{A_{\text{vc}}} \right| (\text{dB})$$

K_{CMR} 越大，抑制零漂能力越强。

双端输出时 K_{CMR} 可认为等于无穷大

单端输出时共模抑制比

$$K_{\text{CMR}} \approx \frac{-\beta R_C / 2(R_{B1} + r_{\text{be}})}{-R_C / 2R_E} \approx \frac{\beta R_E}{R_{B1} + r_{\text{be}}}$$

如何提高
共模抑制比？

增大 R_E

采用电流源取代 R_E



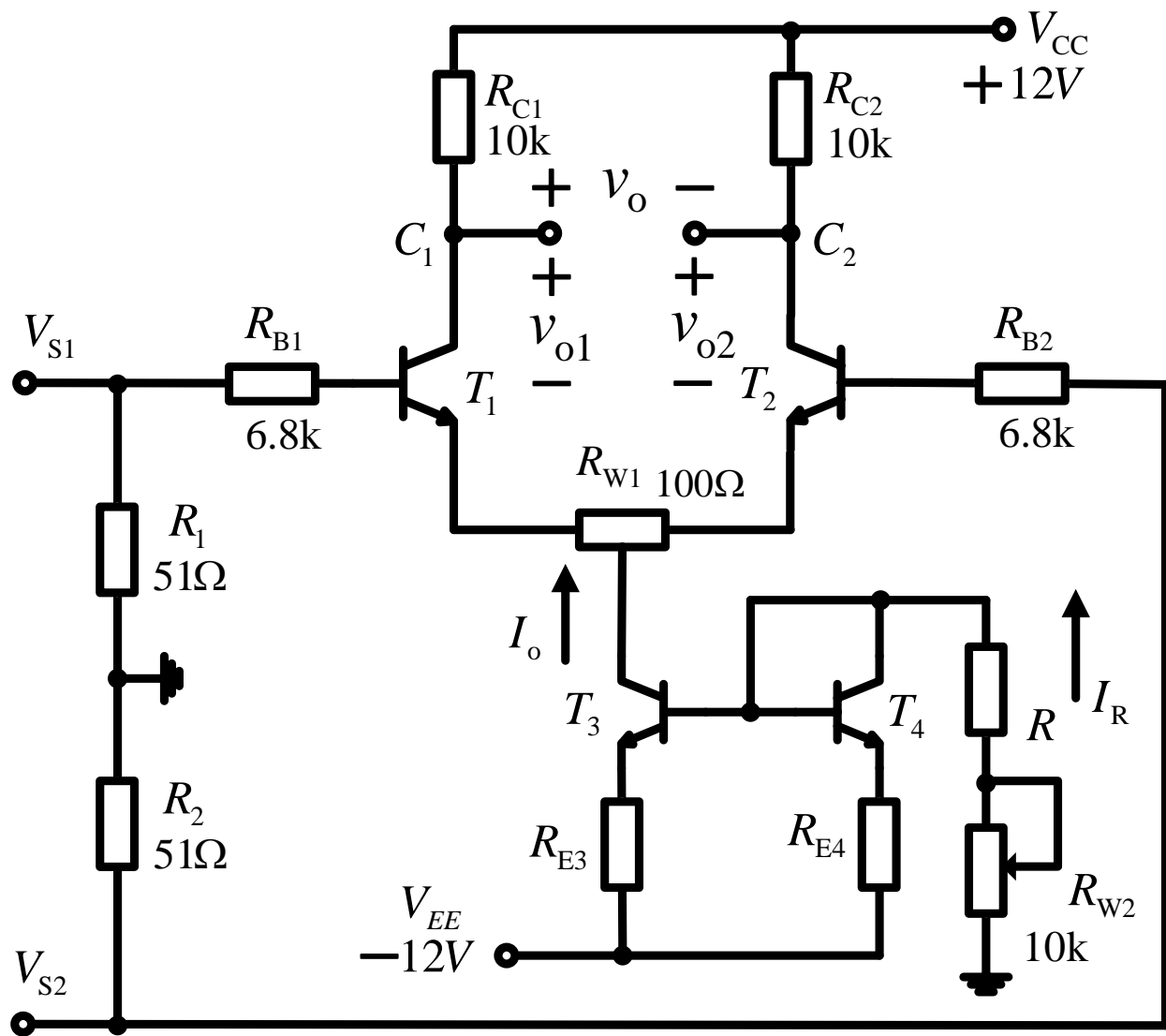
$$I_o = -I_R = \frac{-|V_{EE}| + V_{BE}}{R + R_{W2} + R_{E4}}$$

恒流源的交流等效电阻为:

$$\mathbf{R}'_E = r_{ce3} \left(1 + \frac{\beta R_{E3}}{r_{be3} + R_{E3} + R_B} \right)$$

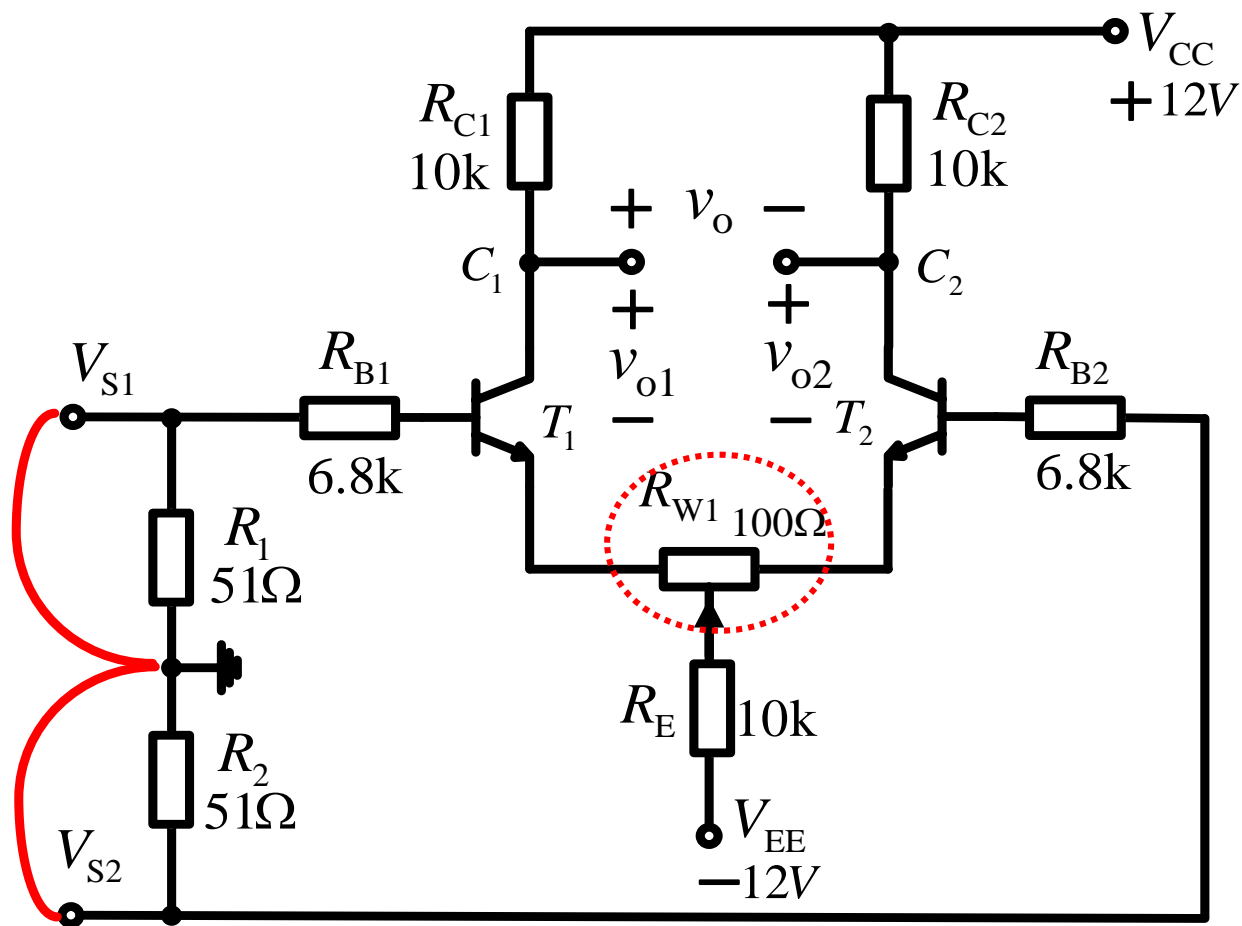
- ◆ 恒流源相当于阻值很大的电阻。
- ◆ 恒流源的管压降只有几伏，可不必提高负电源的值。
- ◆ 恒流源不影响差模放大倍数。
- ◆ 恒流源使共模放大倍数减小，从而增加共模抑制比。

实验原理——带有恒流源的差分式放大电路



实验内容—典型差动放大电路

返回

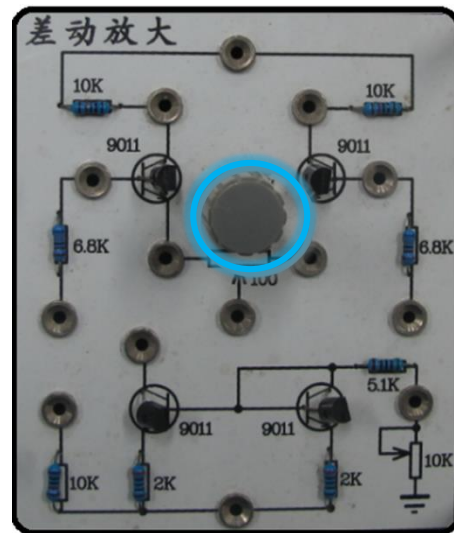


典型差动放大电路实验电路图

实验内容—典型差动放大电路

◆ 测量静态工作点

构成典型差动放大电路，不加输入信号，将输入端 V_{S1} 、 V_{S2} 两点对地短路，调节 R_{W1} 电位器，使 $V_{C1}=V_{C2}$ 。用万用表直流电压档分别测量差分对管 T_1 、 T_2 的各极电位，记录数据于表6-1中。

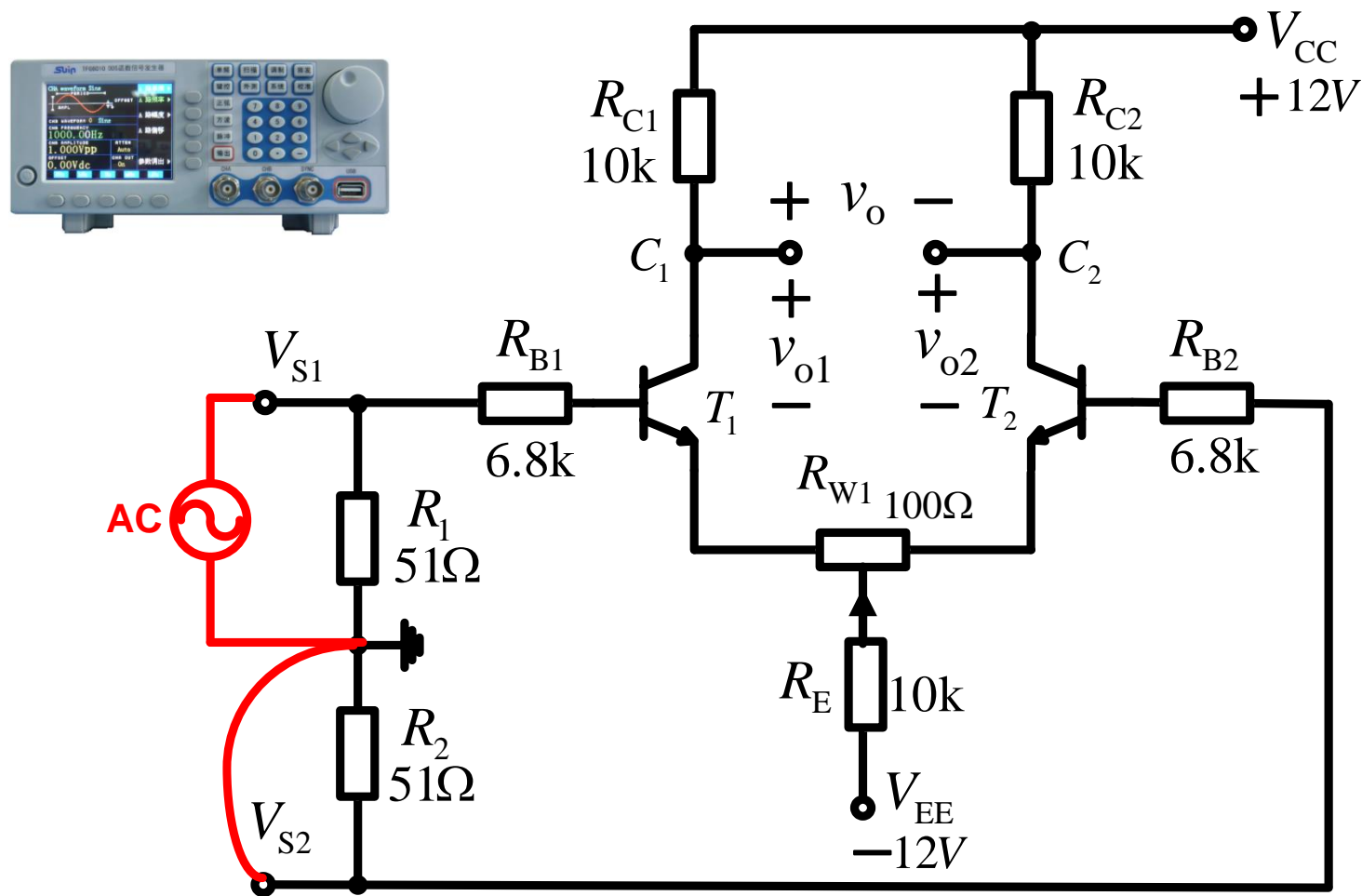


R_{W1} 电位器

表6-1

对地 电位	V_{C1}	V_{C2}	V_{E1}	V_{E2}	V_{B1}	V_{B2}
测量值						

实验内容—典型差动放大电路



测量差模放大倍数实验电路图

实验内容—典型差动放大电路

◆ 测量差模电路电压放大倍数

将放大器输入端 V_{S2} 接地，从 V_{S1} 端输入正弦信号幅 $V_i=20\text{mV}$ （有效值）、频率 $f=1\text{kHz}$ ，记录数据于表6-2中。

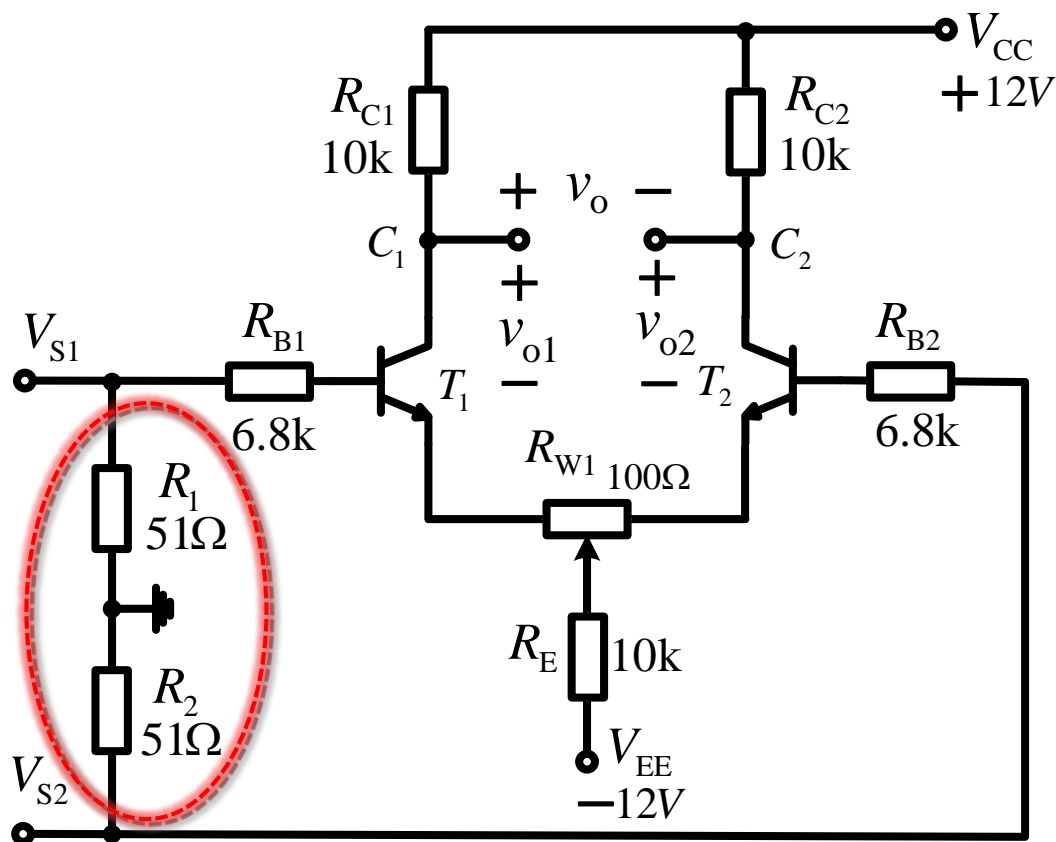
表6-2

	V_{S1}	$V_{od1}(V_{C1})$	$V_{od2}(V_{C2})$	V_{od}
毫伏表	20mV	?	?	?
示波器		波形	波形	波形

注意

V_{od} 的波形观察方法，则双端输出的差模电压为 $V_{od}=V_{od1}-V_{od2}$ 。

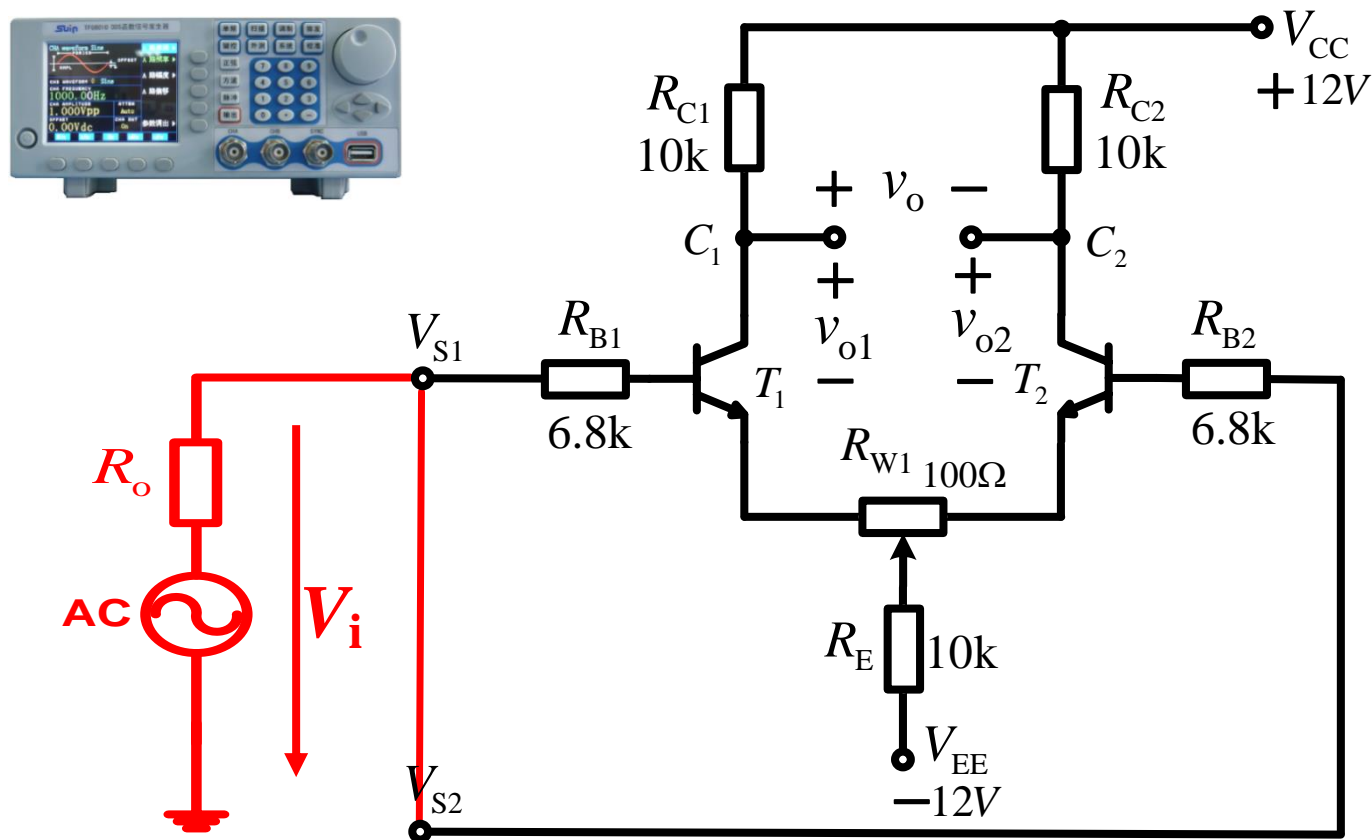
实验内容—典型差动放大电路



测量共模电路电压放大倍数实验电路

实验内容—典型差动放大电路

返回



测量共模电路电压放大倍数实验电路

实验内容—典型差动放大电路

◆ 测量共模电路电压放大倍数

将输入端 V_{S1} 和 V_{S2} 两点连接在一起，电阻 R_1 与 R_2 从电路中断开，从 V_{S1} 和 V_{S2} 两端输入幅度 $V_{ic}=90mV$ （有效值），频率 $f=1kHz$ 的正弦信号（共模信号），记录数据于表6-3中。

表6-3

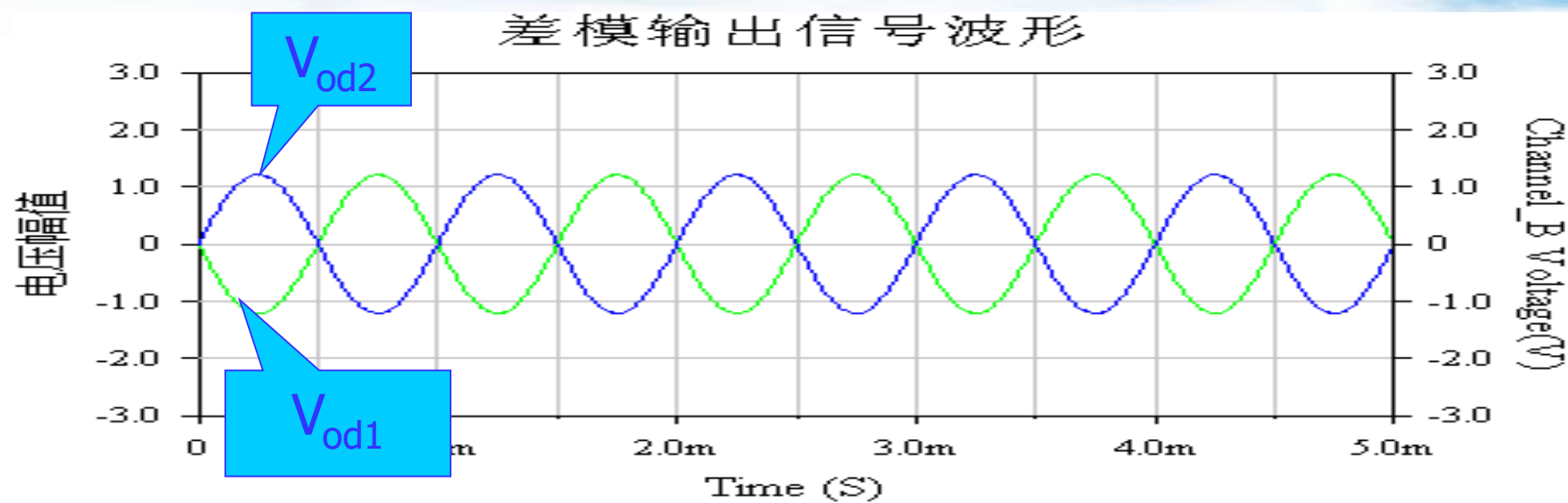
	$V_{S2} (V_{S1})$	V_{oc1}	V_{oc2}	V_{oc}
毫伏表	90mV	?	?	?
示波器		波形	波形	波形

注意

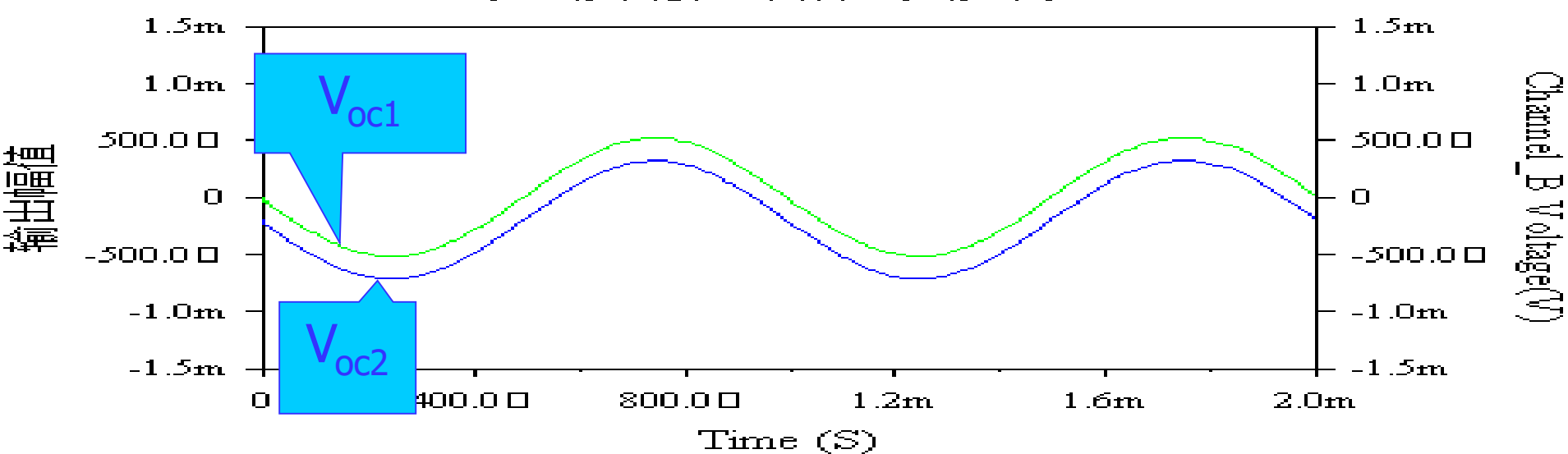
V_{oc} 的波形观察方法，则双端输出的共模电压为 $V_{oc}=V_{oc1}-V_{oc2}$ 。

差动放大电路输出波形

差模输出信号波形

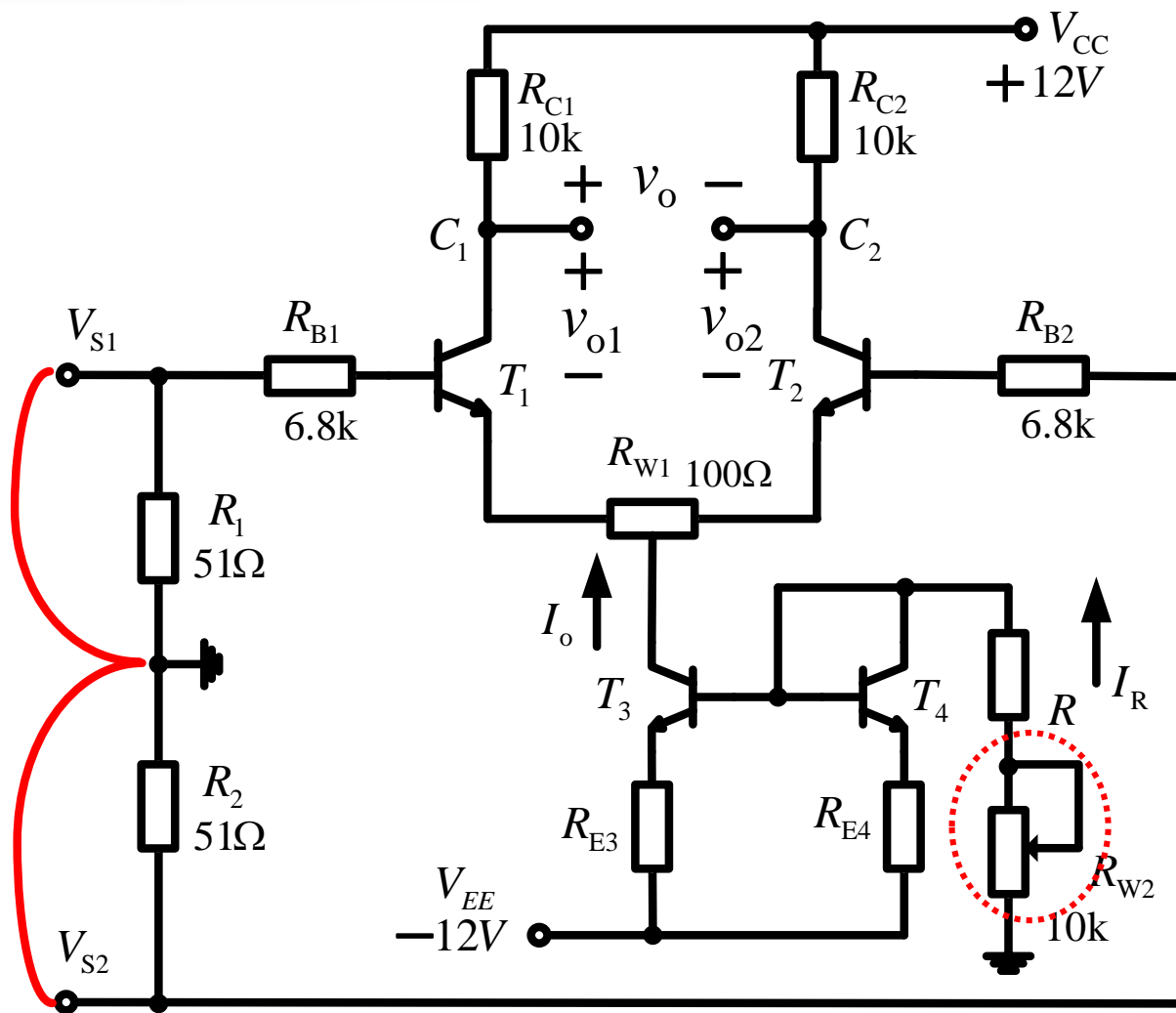


共模输出信号波形



实验内容—恒流源差动放大电路

返回



电位器
 R_{W2}
外接

恒流源差动放大电路实验电路图

实验内容—恒流源差动放大电路

◆ 静态工作点调节

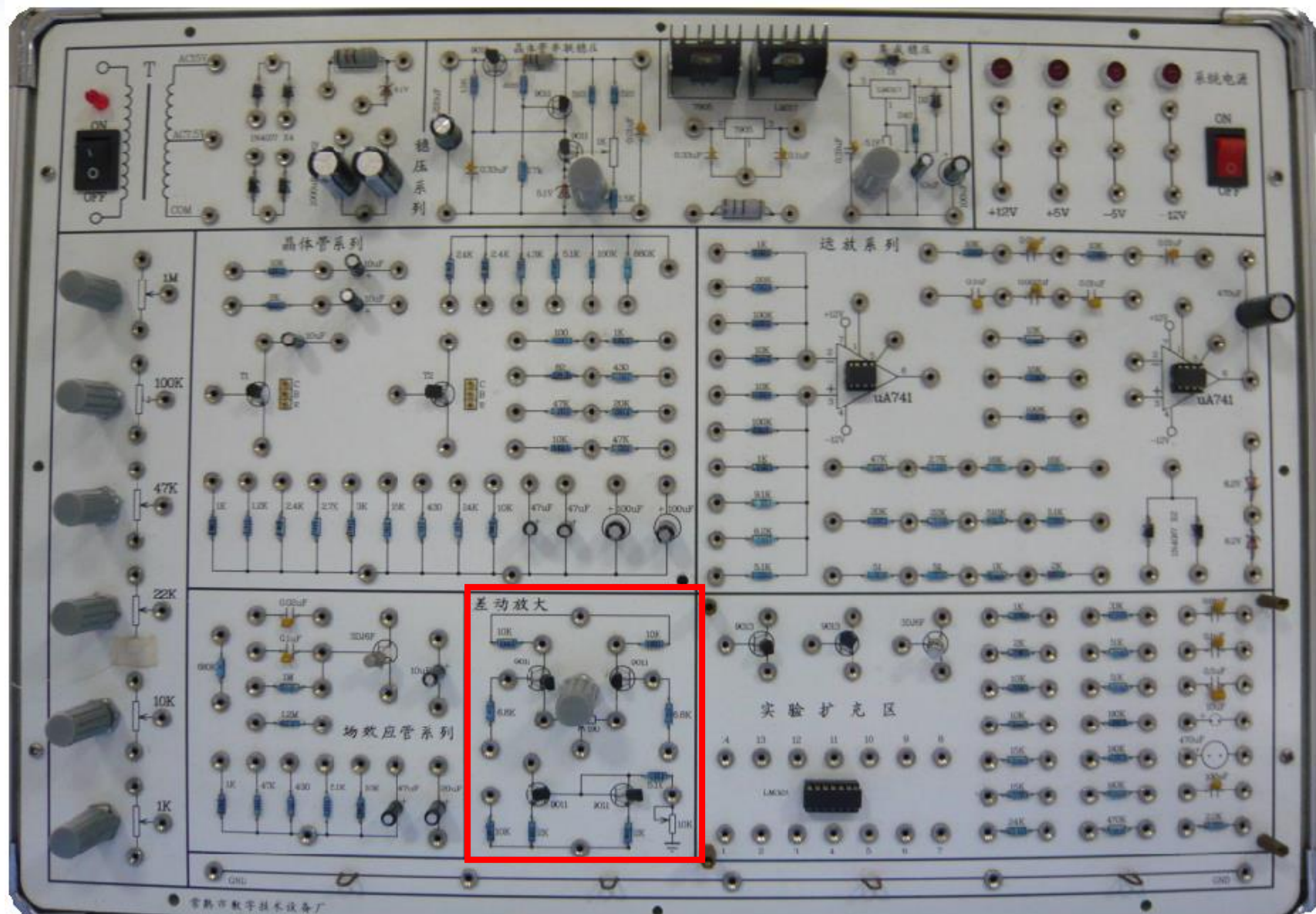
构成具有恒流源差动放大电路，不加输入信号，将输入端 V_{S1} 、 V_{S2} 两点对地短路，调节恒流源电路 $R_{W2}=10k$ 电位器（外接），当 $I_0=1mA$ ，即 $V_{RC1}=5V$ ， $I_0=2V_{RC1}/R_{C1}$ 。

用万用表直流电压档分别测量差分对管 T_1 、 T_2 的各极电位， R_{W2} 电位器的阻值，记录数据于表6-4中。

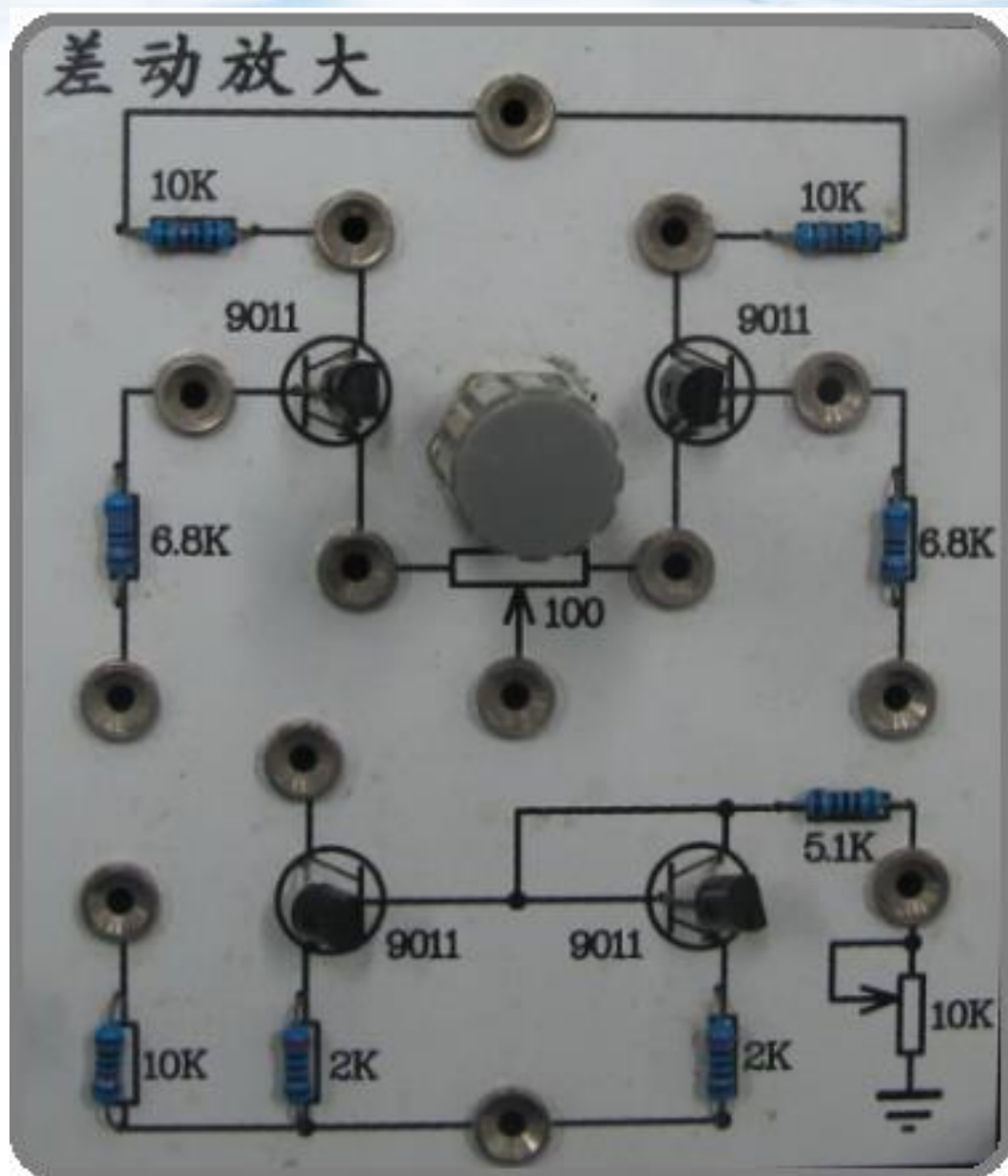
表6-4

对地 电位	V_{C1}	V_{C2}	V_{E1}	V_{E2}	V_{B1}	V_{B2}	R_{W2}
测量值							

◆ 重复典型差动放大电路中的实验内容中(2)、(3)、(4)的内容。



差动放大





注意事项

1. 为使两个管工作在对称的状态，应调节 R_{W1} 使 V_{C1} 和 V_{C2} 之间的电压为0V；为尽量满足这个要求，应用万用表的直流200mV档测量，使这个电压在十几毫伏以内，而不应用较大的量程测量。
2. 在输入交流信号时，不要事先调好输入电压的值，因为信号源本身有一定的内阻值，接到电路后应进行细调，也就是说保证输入到放大电路的输入信号是我们所需要的数值。
3. 恒流源差动放大电路实验中，恒流源部分中10k Ω 电位器是需要外接入的。
4. 在测量差模双端输出时，应用示波器测量峰值；按下示波器CH2反相按键，在显示方式中选择叠加方式（ADD方式），即可得到所测的差分波形（CH1-CH2）。



思考题：

1. 为什么要对差分放大器进行调零，在实验中是否非常重要？
2. 差分放大器的差模输出电压是与输入电压的差还是与输入电压的和成正比？
3. 典型差动放大电路与恒流源差动放大电路在观测 u_{C1} 与 u_{C2} 的波形时，其大小、极性及共模抑制比 K_{CMR} 有何区别？为什么？

下次实验：加法器 111室