



南京郵電大學
Nanjing University of Posts and Telecommunications

电工电子实验报告

课程名称: 电工电子实验 (一)

实验名称: 差动放大电路

学 院: 集成电路科学与工程学院

(产教融合学院)

班 级: B240305

学 号: B24030513

姓 名: 李宝宣

指导教师: 郑开来

学 期: 2025-2026 学年第 一 学期

差动放大电路

一、实验目的

- 1.熟悉差动放大器电路的组成原理及用途；
- 2.掌握差动放大器静态参数的测量方法；
- 3.掌握差动放大器动态参数 (差模放大倍数 A_{ud} , 共模放大倍数 A_{uc} , 共模抑制比 K_{CMR}) 的测试方法；
- 4.掌握带恒流源差动放大电路的调试方法。

二、主要仪器设备及软件

硬件: 1.示波器 2.函数信号发生器 3.直流稳压电源 4.实验箱 5.台式万用表 6.阻容元件及导线若干

软件: Multisim 14.3

三、实验原理 (或设计过程)

差动放大电路又称差分放大器，它是一种特殊的直接耦合放大电路。它的基本特点是能有效地抑制共模信号，放大差模信号。它广泛应用于模拟集成电路中，常作为输入级或中间放大级。如图 1 所示，图中电路两边左右完全对称， T_1 、 T_2 管型号性能参数相同。 R_E 的作用是为 T_1 、 T_2 确定合适的静态电流 I_E ，它对差模信号无负反馈作用，因而不影响差模电压放大倍数，但对共模信号有较强的负反馈作用，所以可以抑制温度漂移。这种电路称为长尾式差动放大电路。根据电路结构，该电路可组成 4 种形式：单端输入单端输出、双端输入双端输出、双端输入单端输出、单端输入单端输出。

1. 静态工作点的计算

测量静态参数时，差动放大器的动态输入量为 0，所以 U_{i1} 和 U_{i2} 都必须接地。假设 T_1 、 T_2 完全对称，静态参数如下：

$$U_{B1}=U_{B2}=0V$$

$$U_{E1}=U_{E2}=-0.7V$$

$$I_{EE}=\frac{U_{E1}-(-U_{EE})}{R_E+\frac{R_W}{4}}=I_{E1}+I_{E2}\approx I_{C1}+I_{C2}$$

$$U_{C1}=U_{C2}=U_{CC}-I_{C1}\cdot R_C$$

由此可得每个三极管各极的电压 U_{BQ} 、 U_{CQ} 、 U_{EQ} 以及 U_{CEQ} 的值。

2. 动态分析

双端输出的差模电压放大倍数为：

$$A_{ud} = \beta \cdot \frac{RC \parallel \frac{RL}{2}}{Rb1 + r_{be} + \frac{(1+\beta)RW1}{2}}$$

其中 r_{be} 为基极发射极极间电阻，

$$r_{be} = 300 + (1+\beta)26(mV)/I_E(mA)$$

由于电路完全对称，理想情况下，双端输出共模电压增益为：

$$A_{uc} \approx 0V$$

共模抑制比为：

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \right| \rightarrow \infty$$

四、实验电路图

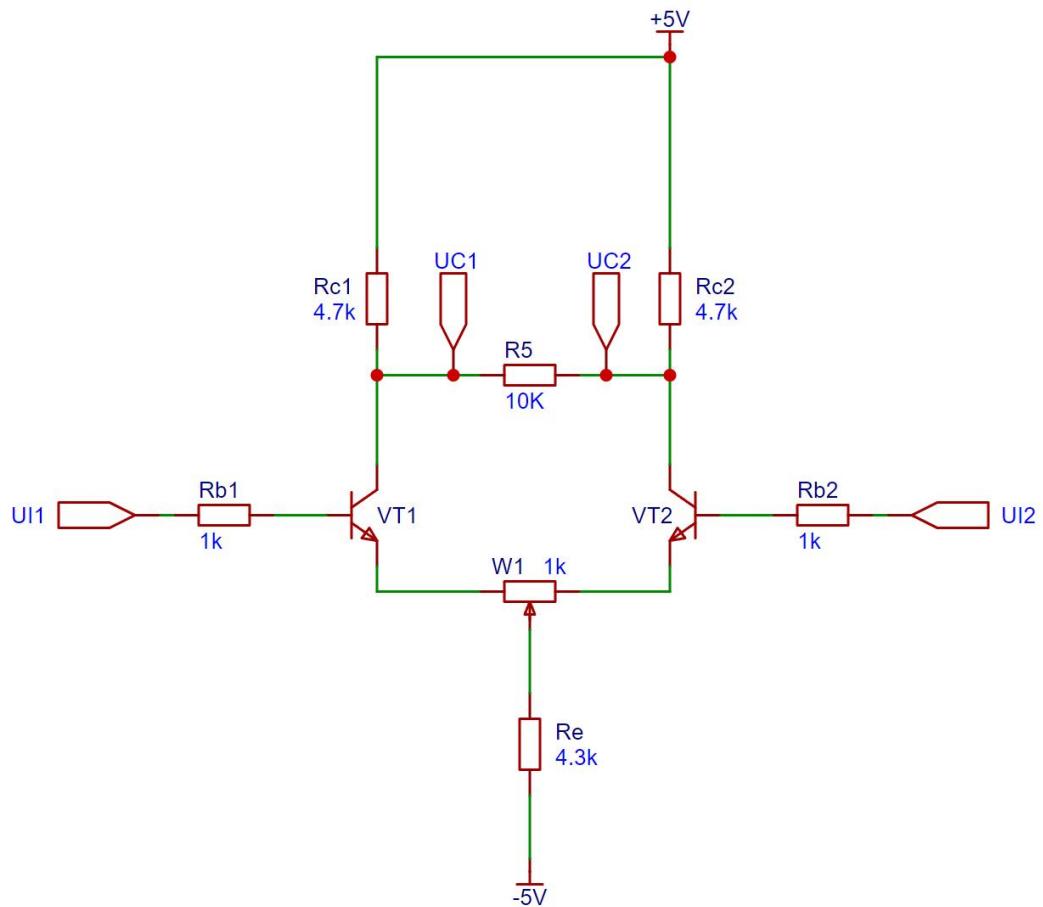


图 1 差动放大电路示意图

五、实验内容和实验结果

1. 安装电路并调零。

调零电路如图 1 所示，在对称双二极管的发射级间串入一个电位器 W_1 ，将电位器调至中间位置，使得两个三极管的静态工作点对称，从而达到调零的目的。具体操作时，先使输入信号为 0，即 U_{i1} 和 U_{i2} 接地，将万用表接在输出端测量 U_o 电压，调整电位器，观察万用表上的读数，直到读数为零或最小，此时即完成调零。调零完成后，需再次检查电路连接是否正确，确保无短路或断路现象，为后续实验做好准备。

2. 测量差动放大电路的静态参数，并记录在表 1 中。

表 1 差动放大电路的静态参数

静态参数	T1		T2	
	理论值	实测值	理论值	实测值
U_{BQ}/mV	0	-1.984	0	-2.015
U_{EQ}/V	-0.7	-0.619	-0.7	-0.62
U_{CQ}/V	2.65	2.784	2.65	2.784
U_{CEQ}/V	3.35	3.405	3.35	3.405

3. 测量双端输出形式下的差模电压放大倍数。

在 u_{i1} 处输入 $U_{id}=0.05V$ （有效值）， $f=1kHz$ 的正弦信号， u_{i2} 接地，用台式万用表分别测量 U_{C1} 、 U_{C2} 的值，计算差模电压放大倍数 A_{ud} 。实验数据和波形如表 2，图 2 所示。

A_{ud} 的理论计算如下。

(1) 已知电路参数

电源：+5 V / -5 V

$$R_{c1} = R_{c2} = 4.7 k\Omega$$

$$R_{b1} = R_{b2} = 1 k\Omega$$

$$R_e = 4.3 k\Omega$$

$$R_s = 10 k\Omega$$

电位器 $W_1 = 1 k\Omega$ （居中）

晶体管参数：

$V_{BE} \approx 0.7 V$ ， β 足够大，忽略 r_o ，室温下 $V_T \approx 25.9 mV$ 。

(2) 直流工作点

发射极静态电压约为-0.7V，因此尾电流：

$$I_T = (-0.7 - (-5)) / 4.3k \approx 1 mA$$

差分对对称分流： $I_C \approx 0.5 mA$ （每管）

(3) 小信号参数

晶体管跨导:

$$g_m = I_C/V_T = 0.5 \text{mA}/25.9 \text{mV} \approx 0.0193 \text{S}$$

等效发射极电阻:

$$r_e = 1/g_m \approx 51.8 \Omega$$

(4)发射极退化

差模工作时, 电位器 W_1 居中, 相当于每边发射极串联 500Ω 。

有效跨导:

$$g_{m\text{eff}} = 1 / (r_e + R_E) = 1 / (51.8 + 500) \approx 0.00181 \text{S}$$

(5)集电极等效负载

差模下, 跨接电阻 R_5 等效为每边到交流地的 $R_5/2 = 5 \text{k}\Omega$ 。

因此集电极等效负载:

$$R_{C\text{eff}} = 4.7 \text{k}\Omega \parallel 5 \text{k}\Omega \approx 2.42 \text{k}\Omega$$

(6)差模电压增益

差分输出 (两集电极相减) 的差模增益:

$$A_{ud} = g_{m\text{eff}} \times R_{C\text{eff}}$$

$$A_{ud} \approx 0.00181 \times 2420 \approx 4.4$$

表 2 差放电路的差模输出参数

	U_{id}	U_{c1}	U_{c2}	A_{ud}
理论值	50mV	125mV	95mV	4.4
实测值	49.44mV	120.30mV	94.96mV	4.354

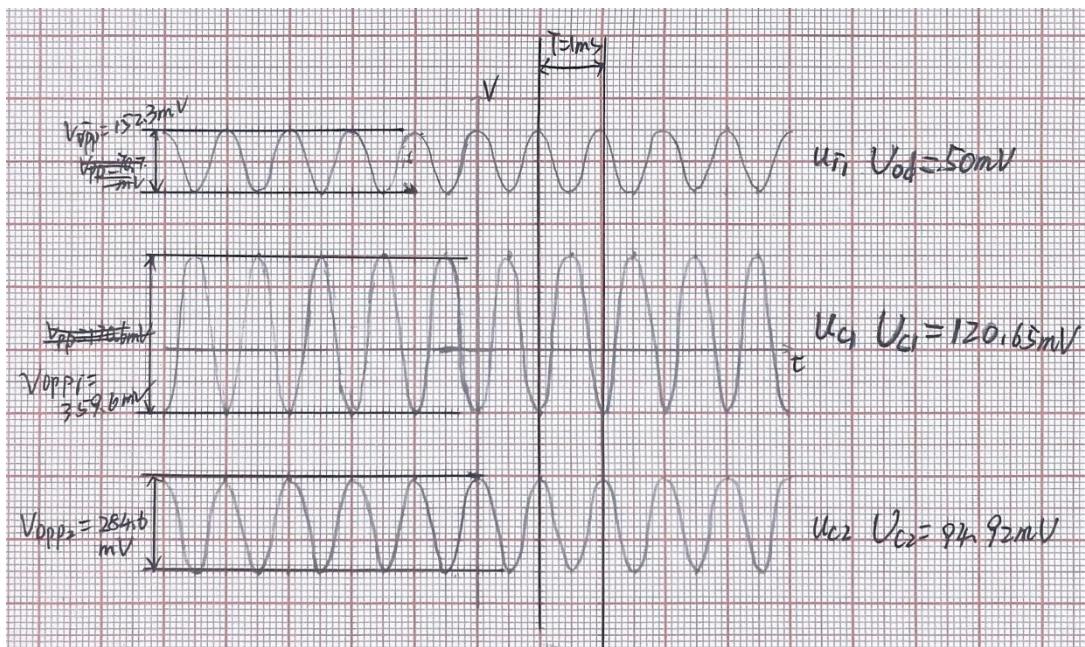


图 2 差动放大电路差模输出波形

4. 测量差动放大器的共模增益和共模抑制比。

将差动放大器的两个输入端接在一起，即 u_{i1} 和 u_{i2} 接在同一点，输入 $U_{ic}=0.5V$ （有效值）， $f=1kHz$ 的正弦信号，用台式万用表分别测量 U_{c1} 、 U_{c2} 的值，计算共模电压放大倍数 A_{uc} 以及共模抑制比 K_{CMR} 。实验数据与波形分别如表 3、图 3 所示。

表 3 差放电路共模输出参数

	u_i	U_{c1}	U_{c2}	A_{uc}	K_{cmr}
理论值	0.5V	257mV	257mV	0	$+\infty$
实验值	0.495V	255.59mV	257.08mV	0.03	1451.42

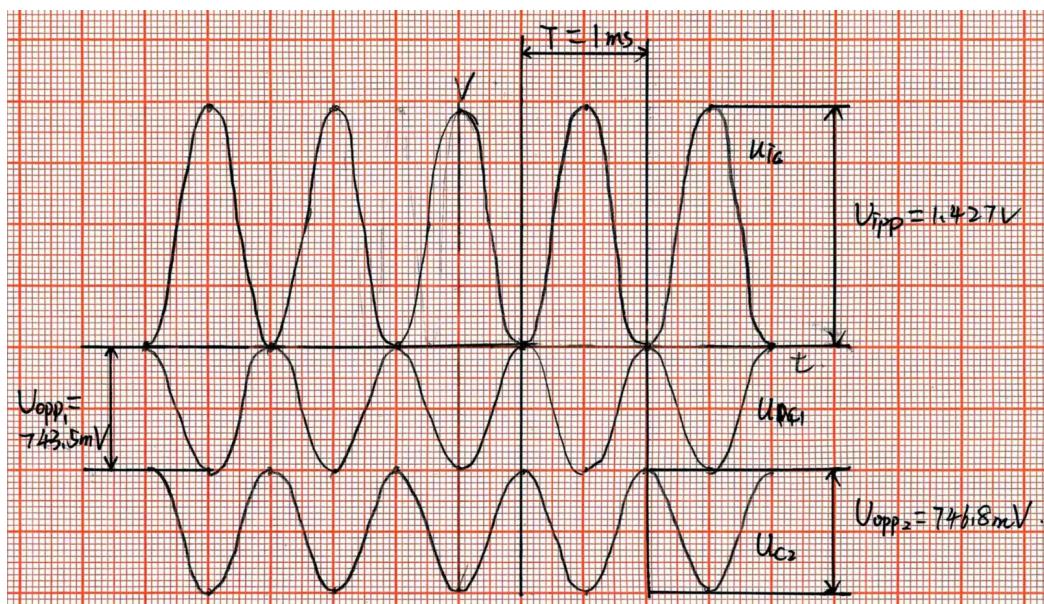


图 3 差放电路的共模输出波形

六、结果分析

通过本次实验，对长尾式差动放大电路的静态与动态特性进行了系统测试与分析。实验结果表明，电路的实际工作情况与理论分析基本一致，验证了差动放大电路的基本工作原理。

在静态参数测试中，测得两支晶体管的基极、电极和集电极电压值较为接近，说明通过调节电位器 W_1 ，能够有效实现电路调零，使差分对处于对称的静态工作状态。实测值与理论值之间存在一定偏差，主要原因在于晶体管参数的不完全一致、 V_{BE} 的近似取值以及测量仪器精度的限制。

在差模输入条件下，实验测得的差模电压放大倍数 A_{ud} 与理论计算结果较为接近，表明该电路能够有效放大差模信号，小信号模型分析方法具有较好的适用性。输出波形显示两个集电极电压幅值不完全相等，主要是由于器件参数离散性及外接电阻误差所致。

在共模输入条件下， U_{c1} 与 U_{c2} 的输出幅值基本相同，差分输出接近于零，说明电路对共模信号具有较强的抑制能力。理论上理想差动放大器的共模增益趋近于零，共模抑制比趋于无穷大，而实验中测得有限的共模增益和共模抑制比，主要原因包括尾电阻并非理想恒流源以及晶体管参数不匹配等因素。

七、实验小结

通过本次差动放大电路实验，加深了对长尾式差动放大器工作原理的理解，掌握了差动放大电路静态工作点的调试方法以及差模增益、共模增益和共模抑制比等动态参数的测量方法。

实验过程中，熟悉了利用电位器进行电路调零的操作方法，提高了对模拟电路中器件参数离散性和实际误差影响的认识。实验结果表明，差动放大电路具有良好的差模放大能力和较强的共模抑制性能，满足实验设计要求。

本次实验不仅提高了电路分析与调试能力，也为后续运算放大器和模拟集成电路相关内容的学习奠定了良好的理论与实践基础。