

实验二 由分立元件构成的负反馈放大电路

一、实验目的

1. 了解 N 沟道结型场效应管的特性和工作原理。
2. 熟悉两级放大电路的设计和调试方法。
3. 理解负反馈对放大电路性能的影响。
4. 学习使用 Multisim 分析、测量负反馈放大电路的方法。

二、实验必作内容

设计和实现一个由共漏放大电路和共射放大电路组成的两级电压并联负反馈放大电路。

1. 测试 N 沟道结型场效应管 2N5486 的特性曲线（只做仿真测试）

在 Multisim 设计环境下搭建结型场效应管特性曲线测试电路，利用“直流扫描分析（DC Sweep Analysis）”得到场效应管的输出特性和转移特性曲线。测出 I_{DSS} 和使 i_D 等于某一很小电流（如 $5\mu A$ ）时的 $u_{GS(off)}$ 。2N5486 的主要参数见附录。

2. 两级放大电路静态和动态参数要求

- （1）放大电路的静态电流 I_{DQ} 和 I_{CQ} 均约为 $2mA$ ；结型场效应管的管压降 $U_{GDQ} < -4V$ ，晶体管的管压降 $U_{CEQ} = 2\sim 3V$ 。
- （2）开环时，两级放大电路的输入电阻 R_i 要大于 $90k\Omega$ ；以反馈电阻作为负载时的电压放大倍数的数值 ≥ 120 。
- （3）闭环时，电压放大倍数 $\dot{A}_{usf} = \dot{U}_o / \dot{U}_s \approx -10$ 。

3. 参考电路

- （1）电压并联负反馈放大电路方框图如图 1 所示， R 模拟信号源的内阻； R_f 为反馈电阻。

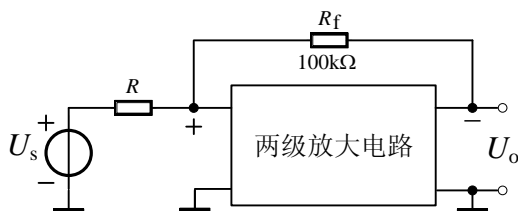


图 1 电压并联负反馈放大电路方框图

- （2）两级放大电路的参考电路如图 2 所示。 R_{g1} 、 R_{g2} 取值应大于 $100k\Omega$ 。考虑到引入电压负反馈后反馈网络的负载效应，应在放大电路的输入和输出端分别并联反馈电阻 R_f ，理由详见附录。

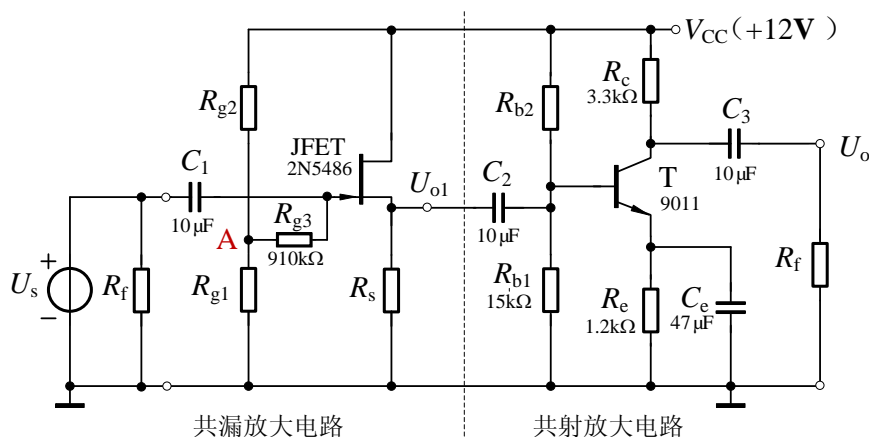


图 2 两级放大电路

4. 实验方法与步骤

(1) 两级放大电路的测试

(a) 调整放大电路静态工作点

第一级电路：设计与调节电阻 R_{g1} 、 R_{g2} 、 R_s 参数，使 I_{DQ} 约为 2mA、 $U_{GDQ} < -4V$ ，记录 U_{GSQ} 、 U_A 、 U_S 、 U_{GDQ} 。

第二级电路：调节 R_{b2} ，使 I_{CQ} 约为 2mA， $U_{CEQ} = 2 \sim 3V$ 。记录 U_{CEQ} 。

(b) 测试放大电路的主要性能指标

输入信号的有效值 $U_s \approx 5mV$ ，频率 f 为 10kHz，测量 $\dot{A}_{u1} = \dot{U}_{o1}/\dot{U}_s$ 、 $\dot{A}_u = \dot{U}_o/\dot{U}_s$ 、 R_i 、 R_o 和幅频特性。

(2) 电压并联负反馈放大电路的测试

在两级放大电路中引入电压并联负反馈，合理选取 R 的值，使闭环电压放大倍数约为 -10。

输入信号的有效值 $U_s \approx 50mV$ ， f 为 10kHz。测量 $\dot{A}_{usf} = \dot{U}_o/\dot{U}_s$ 、 R_{if} 、 R_{of} 和幅频特性。

说明：幅频特性的测试只在仿真实验中进行。

三、实验选作内容

实现一个由共源放大电路和共射放大电路组成的两级电流并联负反馈放大电路。

参考实验电路如图 3 所示。

输入信号的有效值 $U_s \approx 50mV$ ， f 为 10kHz。测量并记录 $\dot{A}_{usf} = \dot{U}_o/\dot{U}_s$ 、 R_{if} 和 R_{of} 。

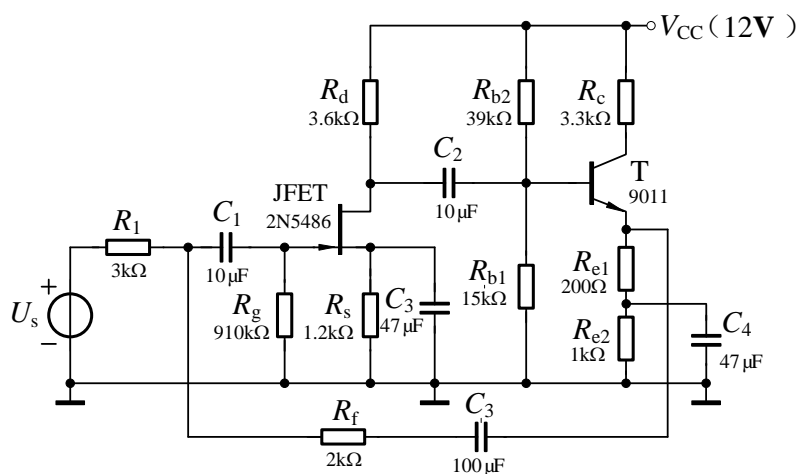


图 3 电流并联负反馈放大电路

四、实验要求

1. 对实验内容先进行仿真测试再搭建硬件电路测试。
2. 仿真测试时，分别保存各测试项目的仿真文件或电路截图，将静态与动态的测试数据记录在数据表格中。
3. 硬件电路测试时，记录各项测试数据。

五、预习要求

1. 复习共漏、共源放大电路的基本工作原理；复习负反馈放大电路的组成与工作原理。
2. 根据实验必做内容中的电路参数要求，计算图 2 两级开环放大电路的 \dot{A}_{u1} 、 \dot{A}_u 、 R_i 、

R_o ；计算引入电压并联负反馈后放大电路的 $A_{u_{sf}}$ 、 R_{if} 、 R_{of} 。

3. 拟定各测试项目的电路图，设计好实验数据记录表格。

4. 在第 10 周的实验课前搭接仿真测试电路，对电路进行仿真，并将各测试项目的电路截图、实验数据整理为实验文档，第 10 周实验课上老师将检查学生的仿真文件和测试结果。

六、实验注意事项

(1) 测试图 2 电路的静态工作点时应通过测量 A 点电位得到 U_{GQ} 。

(2) 由于两级放大电路的输入电阻很高，测试输入电阻的方法请参考单管放大电路实验文档中“高阻值输入电阻的测试方法”。

(3) 闭环测试时，需将输入端和输出端的等效负载 R_f 断开。

(4) 输入电阻 R_{if} 指放大电路的输入电阻，不含 R_o 。

(5) 测试各项电路参数时，要注意电路结构，并随时判断所测数据的正确性。

七、实验报告

1. 整理实验数据，对数据进行理论分析，并将仿真数据、测试数据与理论计算数据进行比较，分析其误差及产生误差的主要原因。

2. 实验中若电路出现故障，请分析故障原因。

3. 总结、分析负反馈对放大电路性能的影响

4. 总结负反馈放大电路性能指标的测试方法。

5. 回答思考题（任选 3 道题回答）。

八、思考题

1. 在图 2 中，为了使场效应管放大电路的静态工作电流为 $1.5\text{mA}\sim 2.5\text{mA}$ ，源极电阻 R_s 应该在什么范围内取值？请结合仿真结果进行分析。

2. 已知实验室配备的万用表内阻约为 $1\text{M}\Omega$ ，实验中调试图 2 所示共漏放大电路的静态工作点时，为什么通过测量 A 点电位来得到栅极电位，而不直接测栅极电位？

3. 在图 2 所示共漏放大电路的设计中，分压电阻 R_{g1} 和 R_{g2} 应该如何合理取值？取几 $\text{k}\Omega$ 、几十 $\text{k}\Omega$ 、几百 $\text{k}\Omega$ 还是几 $\text{M}\Omega$ ？

4. 在图 2 所示的两级放大电路中，可以引入哪些组态的交流负反馈？说明理由。

5. 在本实验中，两级放大电路级连后，静态工作点基本保持不变，为什么？

6. 若单独测试时，第一级的电压放大倍数为 A_{u1} ，第二级的电压放大倍数为 A_{u2} ，则级连后的电压放大倍数是 $A_{u1}A_{u2}$ 吗？为什么？

7. 在图 2 所示电路中，电阻 R_{b1} 和 R_{b2} 的取值会影响哪些动态参数？如果它们取值太小，会产生什么现象？

8. 当两级放大电路引入电压并联负反馈时，为什么在开环测试中将反馈电阻 R_f 作为负载，而在闭环测试中将其断开？

9. 在并联负反馈中，信号源与放大电路之间必须串联一个电阻，为什么？如果没有这个电阻，会出现什么现象？

10. 在图 2 所示电路中，第一级为场效应管放大电路，输入电阻很大，引入并联负反馈后，输入电阻很小，为什么？

11. 在本实验的电压并联两级负反馈放大电路中，最大不失真输出电压大约是多少？当输入信号幅度增大时，首先出现什么失真？为了增加最大不失真输出电压，应该如何调整第二级放大电路的静态工作点？

12. 在放大电路中，为什么旁路电容通常比耦合电容要大得多？

13. 在图 3 所示电路中，引入电流并联负反馈前后，输出电阻为什么基本不变？

14. 本实验中的两级负反馈放大电路容易产生低频振荡还是高频振荡？

附录：

一、N 沟道结型场效应管 2N5486 的主要参数

参数典型值为： $U_{GS(off)} = -3 \sim -4V$ ， $I_{DSS} = 8 \sim 14mA$ 。

2N5486 采用 TO-92 封装，俯视图如图 4 所示。

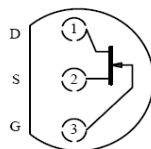


图 4 2N5486 俯视图

二、反馈网络的负载效应

在图 1 所示电路中，反馈电阻 R_f 的电流

$$\dot{I}_{R_f} = \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_o}{R_f} = \frac{\dot{U}_i}{R_f} + \left(-\frac{\dot{U}_o}{R_f}\right)$$

说明： R_f 的电流既取自于输入信号，又取自于输出信号；即表明反馈网络对负反馈放大电路的基本放大电路具有负载效应。根据网络叠加原理，在考虑反馈网络对输入端的负载效应时，令输出量的作用为零，即输出端接地；在考虑反馈网络对输出端的负载效应时，令输入量的作用为零，即输入端接地，如图 5 所示。

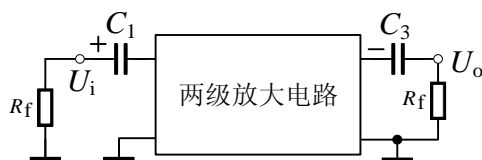


图 5 电压并联负反馈放大电路反馈网络的负载效应