

学子专区一

活动：MOS晶体管共源极放大器

Doug Mercer, 顾问研究员
Antoniu Miclaus, 系统应用工程师

目标

本活动的目的是研究MOS晶体管的共源极配置。

背景知识

共源极放大器是三种基本单级放大器拓扑之一。MOS共源极放大器一般用作反相电压放大器。晶体管的栅极端为输入，漏极端为输出，而源极为输入和输出共用（可连接至参考地端或电源轨），所谓共用即由此而来。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 五个电阻
- ▶ 一个50 kΩ可变电阻、电位计
- ▶ 一个小信号NMOS晶体管(ZVN2110A)

指导

图1所示配置展现了用作共源极放大器的NMOS晶体管。选择适当的输出负载电阻 R_L ，用于产生合适的标称漏极电流 I_D 。 V_{DS} 的电压约为正电源电压 V_p (+5 V)和负电源电压 V_n (-5 V)的中间值。通过可调

电阻 R_{POT} 来设置晶体管(V_{GS})的标称偏置工作点，进而设置所需的 I_D 。选择适当的分压器 $R1/R2$ ，以便通过波形发生器 $W1$ 提供足够大的输入激励衰减，使 $W1$ 的幅度与 V_{DS} 上的信号幅度大致相同。考虑到在晶体管 V_{GS} 的栅极上会出现非常小的信号，这样做更容易查看波形发生器 $W1$ 信号。衰减的 $W1$ 信号通过4.7 μF $C1$ 交流耦合到晶体管栅极，以免干扰直流偏置条件。

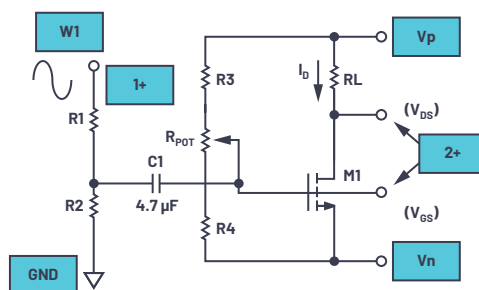


图1. 共源极放大器测试配置。

硬件设置

波形发生器 $W1$ 配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度为3 V，偏移为0 V。并将其连接在示波器通道1+上，以显示发生器输出的信号 $W1$ 。示波器通道2(2+)用于交替测量 $M1$ 栅极和漏极的波形。

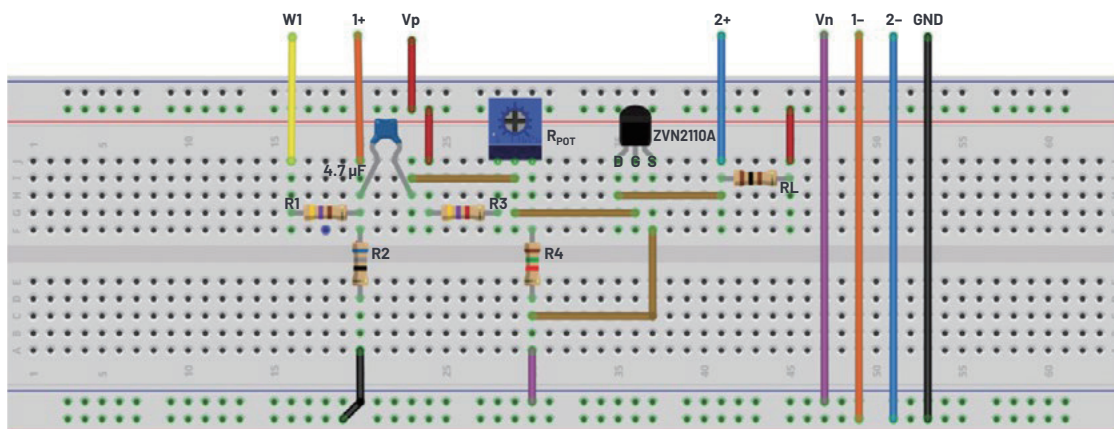


图2. NMOS晶体管面包板电路。

程序步骤

打开连接到MOS晶体管漏极($V_p = +5\text{ V}$)和源极($V_N = -5\text{ V}$)的电源。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号(橙色迹线)和输出信号(紫色迹线)。

产生的波形如图3所示。

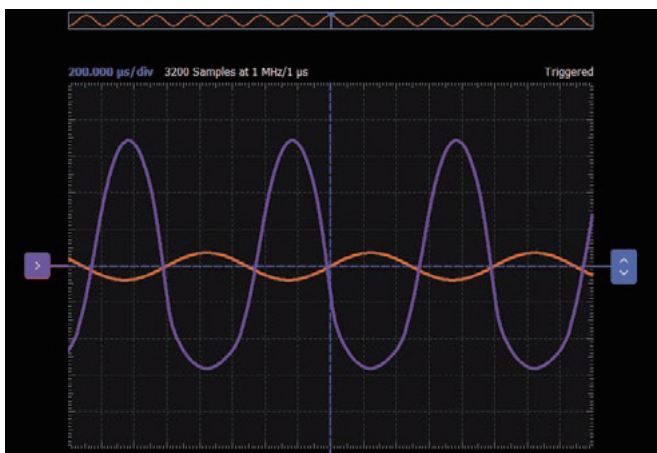


图3. 共源极放大器测试电路的波形图。

共源极放大器的电压增益 A 可以表示为负载电阻 R_L 与小信号源极电阻 r_s 的比值。晶体管的跨导 g_m 是漏极电流 I_D 和所谓的栅极过驱动电压 $V_{GS} - V_{th}$ 的函数, 其中 V_{th} 是阈值电压。

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{th}} \quad (1)$$

小信号源极电阻为 $1/g_m$ 且可视为与源极串联。现在, 在栅极上施加电压信号, 相同的电流会流入 r_s 和漏极负载 R_L 。因此, $R_L \times g_m$ 可得到增益 A 。

$$A = -g_m R_L \quad (2)$$

添加源极负反馈

共源极放大器为放大器提供反相输出, 具有极高增益, 而且各晶体管之间的差异很大。增益与温度和偏置电流密切相关, 所以实际增益有时无法预测。由于可能存在意外的正反馈, 因此

稳定性是与此类高增益电路相关的另一个问题。此外小信号限值带来的低输入动态范围也是一个问题; 如果超过此限值, 就会出现严重失真, 晶体管也不会像其小信号模型那样工作。如果添加负反馈, 就会减少此类问题, 从而提高性能。在这种简单的放大器级中添加反馈有多种方法, 最简单也最可靠的方式是在源电路(R_S)中添加一个小值电阻。这也称为串联反馈。反馈量取决于通过该电阻两端的相对信号压降。

源极负反馈增益方程:

$$A = -\frac{g_m R_L}{1 + g_m R_S} \quad (3)$$

附加材料

一个 $5\text{ k}\Omega$ 可变电阻、电位计

指导

断开M1源极接地连接, 并插入 R_S ($5\text{ k}\Omega$ 电位计), 如图4所示。调整 R_S , 同时注意观察晶体管漏极上的输出信号。电路增益可通过修改 R_S 电位计的值来调整。

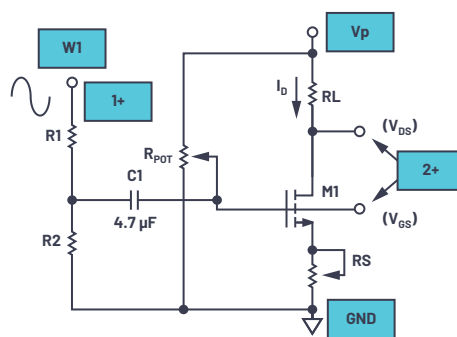


图4. 添加源极负反馈。

硬件设置

波形发生器W1配置为 1 kHz 正弦波, 峰峰值幅度为 3 V , 偏移为 0 V 。并将其连接在示波器通道1+上, 以显示发生器输出的信号W1。示波器通道2(2+)用于交替测量M1栅极和漏极的波形。

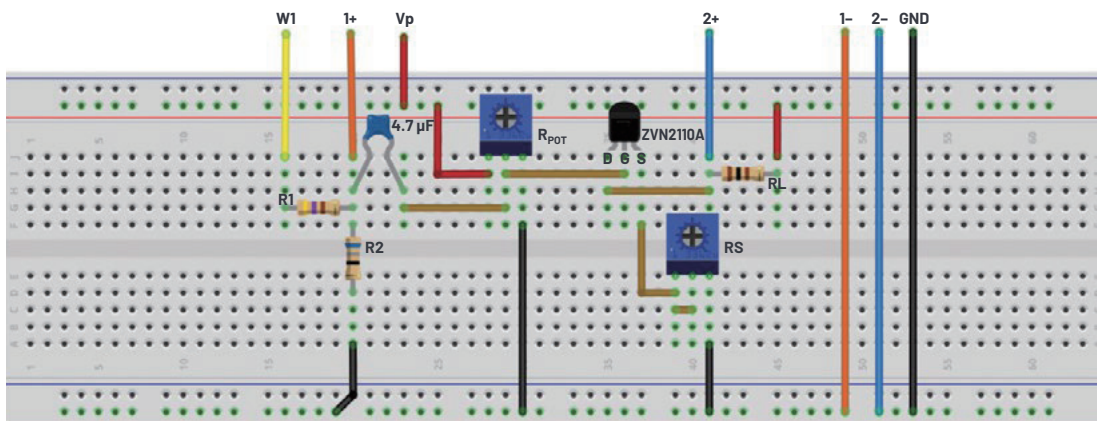


图5. 添加了源极负反馈的面包板连接。

程序步骤

打开连接到漏极的电源($V_p = 5\text{ V}$)。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号(橙色迹线)和输出信号(紫色迹线)。

产生的波形如图6所示。

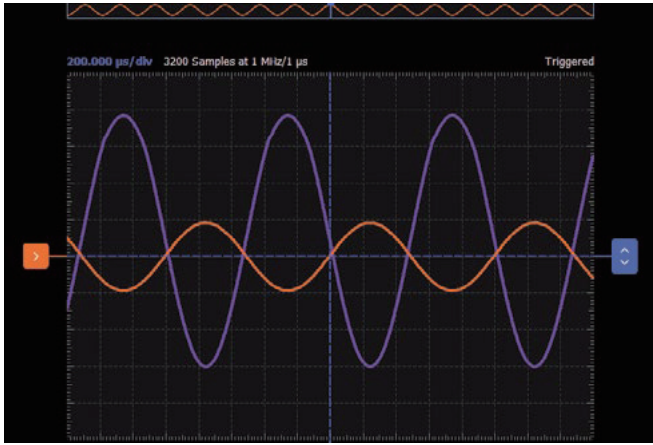


图6. 添加了源极负反馈的波形图。

提高源极负反馈放大器的交流增益

添加源极负反馈电阻提高了直流工作点的稳定性, 但降低了放大器增益。可通过在负反馈电阻 R_s 上并联电容 C_2 , 在一定程度上恢复交流信号的较高增益, 如图7所示。

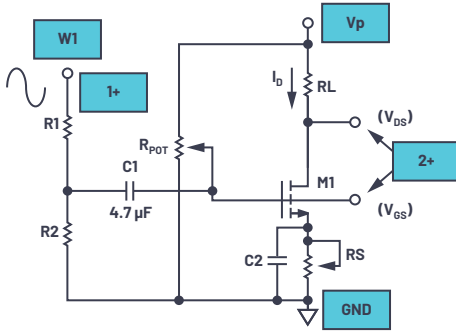


图7. 添加 C_2 以增加交流增益。

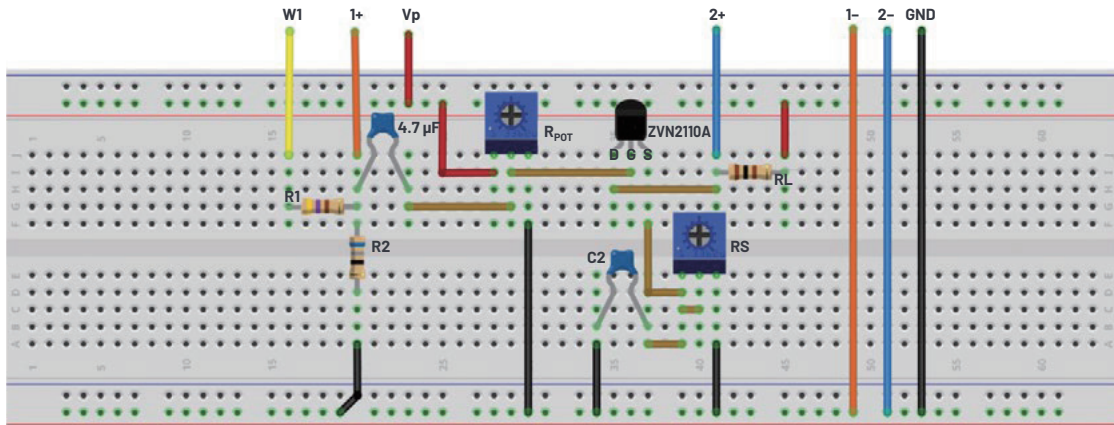


图8. 添加了 C_2 的面包板连接。

硬件设置

波形发生器W1配置为1 kHz正弦波, 峰峰值幅度为3 V, 偏移为0 V。并将其连接示波器通道1+上, 以显示发生器输出的信号W1。示波器通道2(2+)用于交替测量M1栅极和漏极的波形。

程序步骤

打开连接到漏极的电源($V_p = 5\text{ V}$)。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号(橙色迹线)和输出信号(紫色迹线)。

产生的波形如图9所示。

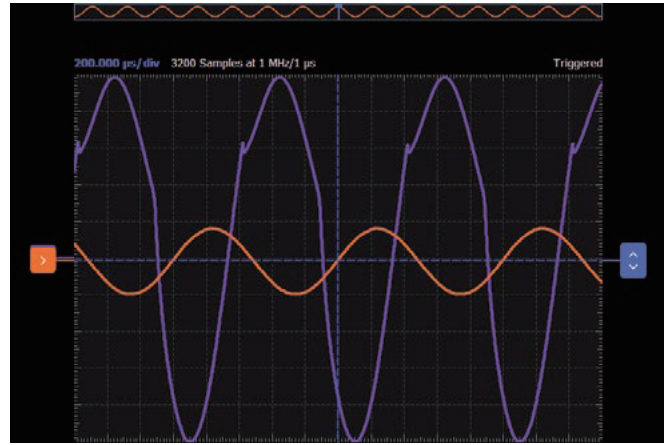


图9. 添加了 C_2 的波形图。

问题

- ▶ 添加负反馈如何有助于稳定直流工作点?
- ▶ 对于源极负反馈电路设置, 增加 R_s 对电压增益A有何影响?

您可以在[学子专区博客](#)上找到问题答案。



作者简介

Doug Mercer于1977年毕业于伦斯勒理工学院(RPI)，获电子工程学士学位。自1977年加入ADI公司以来，他直接或间接贡献了30多款数据转换器产品，并拥有13项专利。他于1995年被任命为ADI研究员。2009年，他从全职工作转型，并继续以名誉研究员身份担任ADI顾问，为“主动学习计划”撰稿。2016年，他被任命为RPI ECSE系的驻校工程师。联系方式：doug.mercer@analog.com。



作者简介

Antoniu Miclaus是ADI公司的系统应用工程师，从事ADI学术项目、Circuits from the Lab®嵌入式软件、QA自动化和过程管理工作。他于2017年2月在罗马尼亚克卢日-纳波卡加盟ADI公司。他目前是贝碧思鲍耶大学软件工程硕士项目的理学硕士生，拥有克卢日-纳波卡科技大学电子与电信工程学士学位。联系方式：antoniu.miclaus@analog.com。

