

学子专区—ADALM2000实验： 源极跟随器(NMOS)

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

目标

本次实验的目的是研究简单的NMOS源极跟随器, 有时也称为共漏极配置。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 一个2.2 k Ω 电阻(R_L)
- ▶ 一个小信号NMOS晶体管 (M1采用增强模式CD4007或ZVN2110A)

说明

面包板连接如图1和图2所示。波形发生器W1的输出连接至M1的栅极端子。示波器输入1+ (单端) 也连接至W1输出。漏极端子连接至正极(V_p)电源。源极端子连接至2.2 k Ω 负载电阻和示波器输入2+ (单端)。负载电阻的另一端连接至负极(V_n)电源。要测量输入-输出误差, 可以将2+连接至M1的栅极, 2-连接至源极, 以显示示波器通道2的差值。

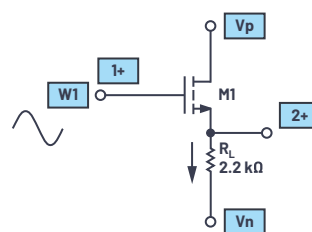


图1. 源极跟随器。

硬件设置

波形发生器配置为1 kHz正弦波, 峰峰值幅度为2 V, 偏移为0。示波器通道2的单端输入(2+)用于测量源极的电压。示波器配置为连接通道1+以显示AWG发生器输出。在测量输入-输出误差时, 应连接示波器的通道2, 以显示2+和2-之间的差值。

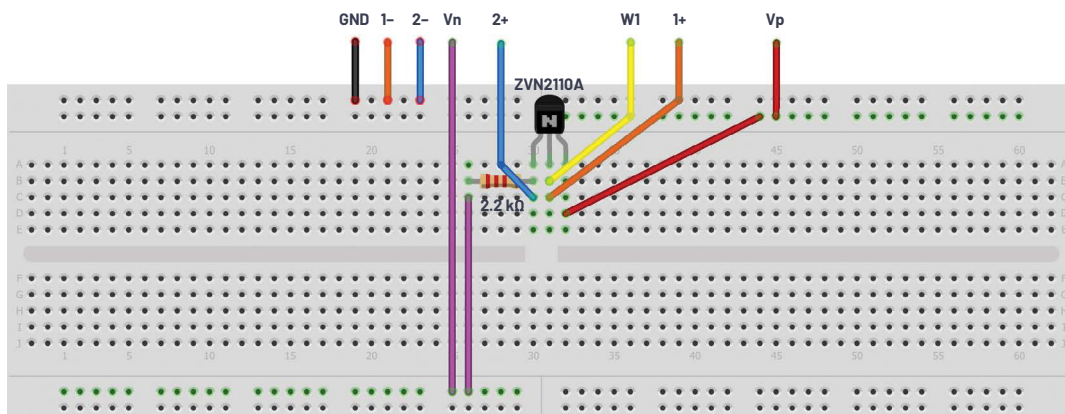


图2. 源极跟随器面包板电路。

程序步骤

配置示波器以捕获所测量的两个信号的多个周期。产生的波形如图3所示。

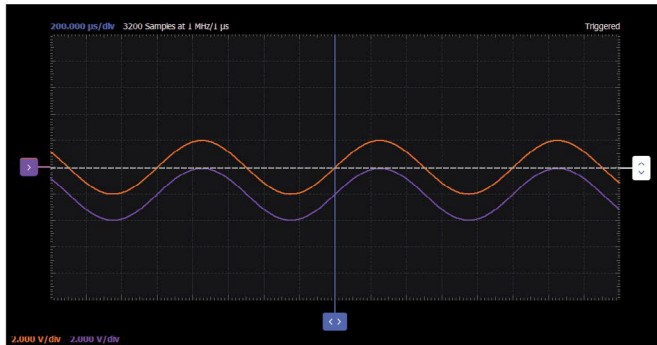


图3. 源极跟随器的输入和输出波形。

源极跟随器的增益(V_{OUT}/V_{IN})理想值为1, 但总是略小于1。增益由以下公式1计算得出:

$$A = \frac{R_L}{R_L + r_s} \quad (1)$$

从公式可以看出, 要获得接近1的增益, 我们可以增大 R_L 或减小 r_s 。也可以看出, r_s 是 I_D 的函数, I_D 增大, r_s 会减小。此外, 从电路可以看出, I_D 与 R_L 相关, 如果 R_L 增大, I_D 会减小。在简单的电阻负载发射极跟随器中, 这两种效应相互抵消。所以, 要优化跟随器的增益, 我们需要找到能在不影响另一方的情况下降低 r_s 或增大 R_L 的方法。需要注意的是, 在MOS晶体管中, $I_D = I_S (I_G = 0)$ 。

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (2)$$

其中, $K = \mu_n C_{ox}/2$, λ 可以认为是与工艺技术相关的常数。

从另一个角度来看, 因为晶体管 V_{th} 本身的DC偏移, 在预期的摆幅内输入和输出之间的差值应是恒定的。受简单的电阻负载 R_L 影响, 漏电流 I_D 会随着输出上下摆动而升高和降低。我们知道 I_D 是 V_{GS} 的函数(平方关系)。以+1 V至-1 V的摆幅为例, 最小 $I_D = 1 \text{ V}/2.2 \text{ k}\Omega$ 或0.45 mA, 最大 $I_D = 6 \text{ V}/2.2 \text{ k}\Omega$ 或2.7 mA。因此 V_{GS} 会发生明显变化。根据这些实验结果, 我们能从一个方面改善源极跟随器。

现在可以使用先前[学子专区](#)实验中的电流镜来代替源负载电阻, 以使放大器晶体管的源极电流固定不变。电流镜能在宽电压范围内获取较为恒定的电流。晶体管中这种较为恒定的电流会导致 V_{GS} 相当恒定。从另一个角度来看, 电流镜中极高的输出电阻可以有效提高 R_L , 但 r_s 保持为电流设定的低值。

加强源极跟随器

附加材料

- ▶ 一个3.2 k Ω 电阻 (将1 k Ω 和2.2 k Ω 电阻串联)
- ▶ 一个小信号NMOS晶体管 (M1采用ZVN2110A)
- ▶ 两个小信号NMOS晶体管 (M2和M3采用CD4007)

说明

面包板连接如图4和图5所示。

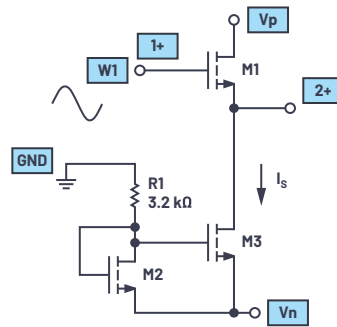


图4. 加强源极跟随器。

硬件设置

波形发生器配置为1 kHz正弦波, 峰峰值幅度为2 V, 偏移为0。示波器通道2的单端输入(2+)用于测量源极的电压。示波器配置为连接通道1+以显示AWG发生器输出。在测量输入-输出误差时, 应连接示波器的通道2, 以显示2+和2-之间的差值。

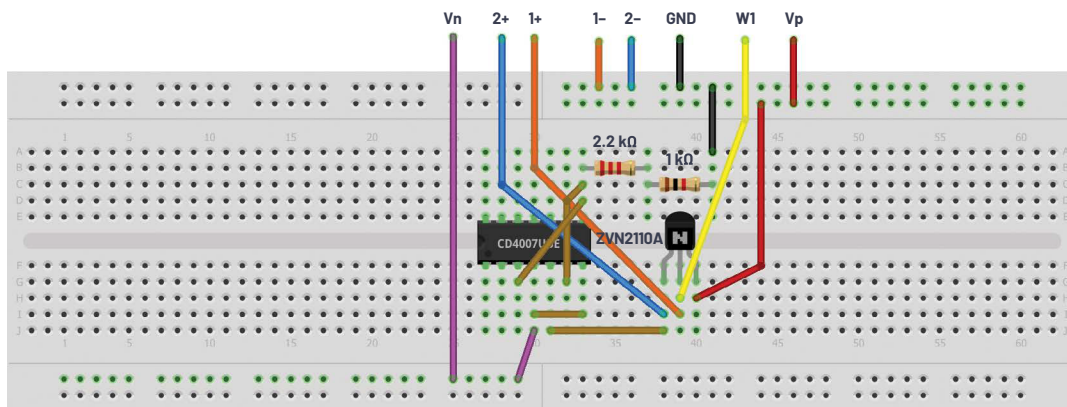


图5. 加强源极跟随器面包板电路。

程序步骤

配置示波器以捕获所测量的两个信号的多个周期。产生的波形如图6所示。

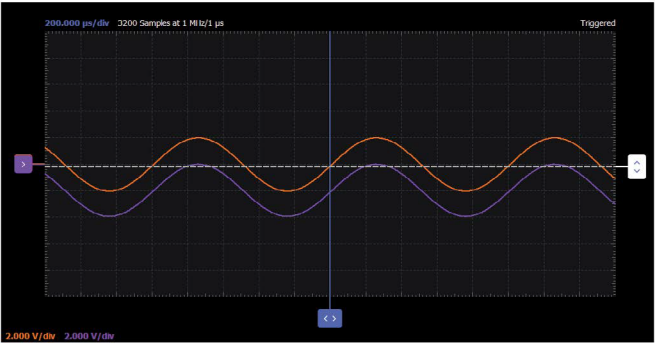


图6. 加强源极跟随器波形。

源极跟随器输出阻抗

目标

源极跟随器的一个重要方面是提供功率或电流增益，即从高电阻（阻抗）级驱动低电阻（阻抗）负载。因此，测量源极跟随器的输出阻抗具有指导意义。

材料

- ▶ 一个4.7 kΩ电阻
- ▶ 一个10 kΩ电阻
- ▶ 一个小信号NMOS晶体管（M1采用CD4007或ZVN2110A）

说明

图7和图8中的电路配置增加了一个电阻R2，将来自AWG1的测试信号注入M1的发射极（输出）。输入端（M1的基极）接地。

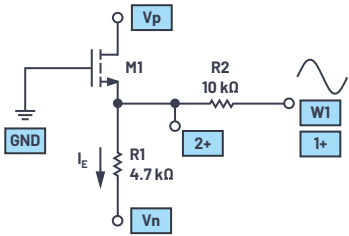


图7. 输出阻抗测试。

硬件设置

波形发生器配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度为2 V，偏移为减去M1的 V_{GS} （约为-1V）。这会将±0.1 mA (1 V/10 kΩ)电流注入M1的源极。示波器输入2+测量源极电压的变化。

程序步骤

绘制在源极处测得的电压幅度。配置示波器以捕获所测量的两个信号的多个周期。产生的波形如图9所示。

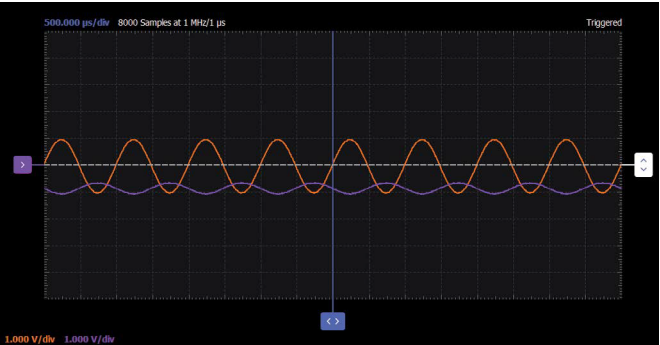


图9. 输出阻抗测试波形。

问题:

您能简要描述两种提高源极跟随器增益（接近1）的方法吗？

您可以在[学子专区论坛](#)上找到问题答案。

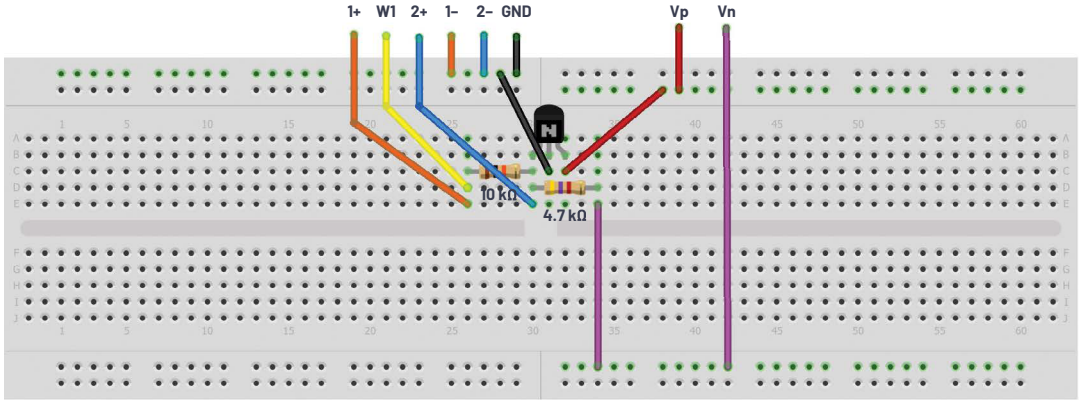


图8. 输出阻抗测试面包板电路。



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

Antoni Miclaus现为ADI公司的系统应用工程师, 从事ADI教学项目工作, 同时为Circuits from the Lab®、QA自动化和流程管理开发嵌入式软件。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: antoni.miclaus@analog.com。

