

学子专区— ADALM2000实验： CMOS放大器级

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

目标

本次实验的目标是探讨由互补MOS器件(CMOS)构建的高增益反相放大器。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 三个100 kΩ电阻
- ▶ 一个10 kΩ电阻
- ▶ 一个4.7 kΩ电阻
- ▶ 两个22 μF电容
- ▶ 两个1 μF电容
- ▶ 一个10 pF电容
- ▶ 一个CD4096A、CD4069UB、CD74HCU04或CD4007

背景信息

CMOS反相器也可以被视为高增益放大器，它由一个PMOS器件M1和一个NMOS器件M2构成。通常，CMOS制造工艺经过特别设计，使得NMOS和PMOS器件的阈值电压 V_{TH} 大致相等——即互补。然后，反相器的设计人员调整NMOS和PMOS器件的宽长比W/L，使其各自的跨导也相等。

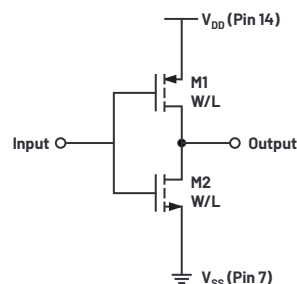


图1. CMOS反相放大器 (CD4007引脚)

说明

首先构建图2所示的简单示例，以测试简单CMOS放大器的输入到输出传递函数。将 V_p (5 V)电源连接到 V_{DD} (引脚14)，并将地连接到GND (引脚7)。将波形发生器的输出端连接到反相器输入端之一 (引脚1) 以及示波器输入端1+，并将反相器输出端 (引脚2) 连接到示波器输入端2+。如果您使用的是CD4069A(UB)，您可以将引脚7 V_{SS} 连接到电路板负电源 V_n ，而不是接地，因为CD4069A(UB)支持大于5 V的电源电压。

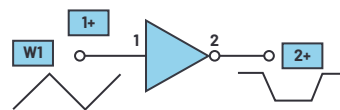


图2. 放大器转换函数

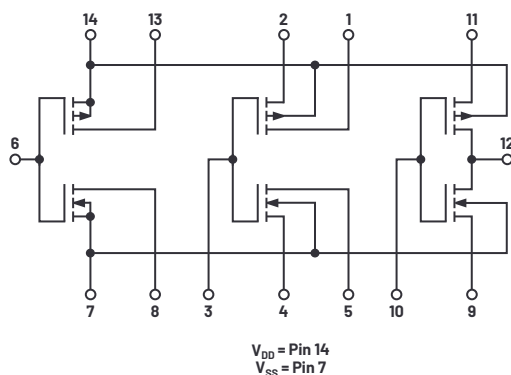


图3. CD4007封装引脚排列

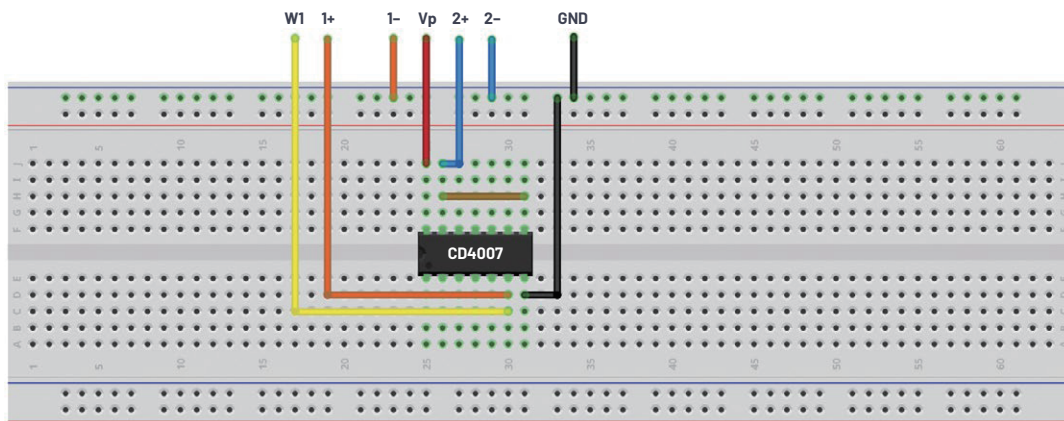


图4. 使用CD4007的硬件设置

硬件设置

CMOS反相放大器电路的面板连接如图4所示。

配置波形发生器生成1 kHz三角波，峰峰值幅度为4 V，偏移为2.5 V。两个示波器通道均应设置为每格1 V。如果正负电源上使用CD4069A，您将需要使用更大的8 V峰峰值幅度和0 V偏移。

程序步骤

测量输出的斜率并计算放大器的直流增益，即输出电压的变化与输出摆幅中心（大约2.5 V）处输入电压的变化之比。请注意，这应该是一个负数，因为放大器反相。

Scopy示波器图示例如图5所示。

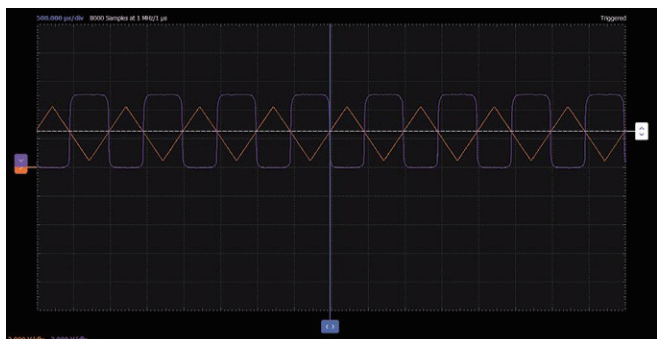


图5. CMOS反相放大器Scopy图

增加负反馈

使用无焊面包板构建图6所示的放大器电路。

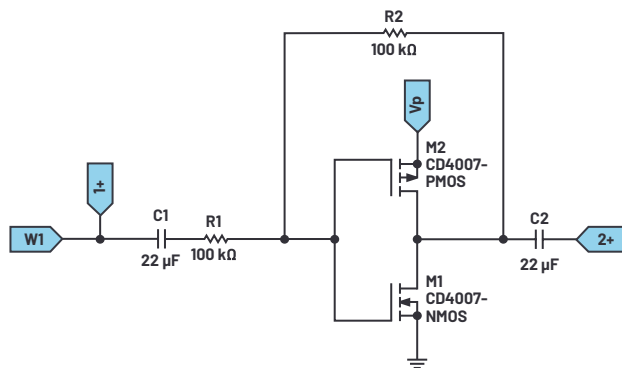


图6. 单级放大器

硬件设置

单级放大器的面包板连接如图7所示。

配置波形发生器生成1 kHz正弦波，峰峰值幅度为2 V，偏移为0 V。

程序步骤

将2 V峰峰值幅度和0 V偏移的正弦信号应用于输入端，并测量整个系统从10 kHz到100 kHz的增益。使用网络(Bode)分析仪绘制整个系统的增益和相位与频率的关系图。

LTspice®关系图示例如图8所示。

添加更多级以获得更高增益

使用无焊面包板构建图9所示的放大器电路。

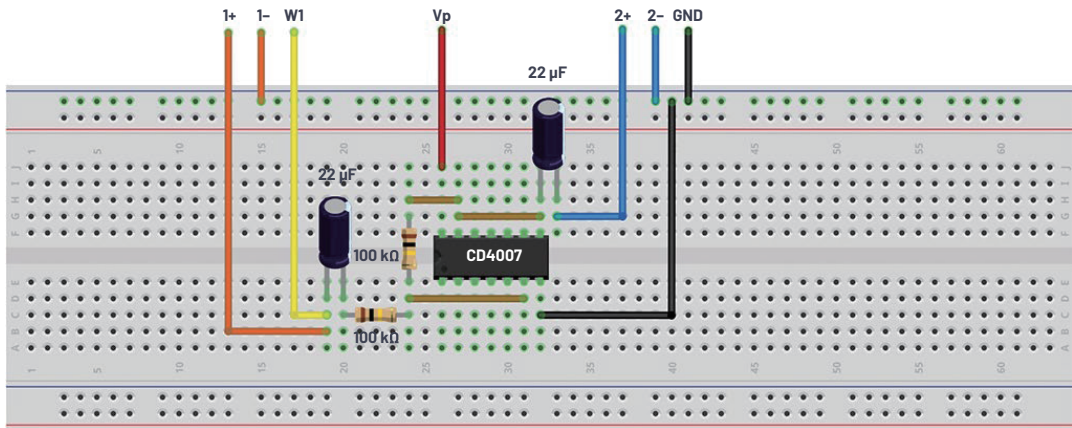


图7. 使用CD4007的单级放大器的硬件设置

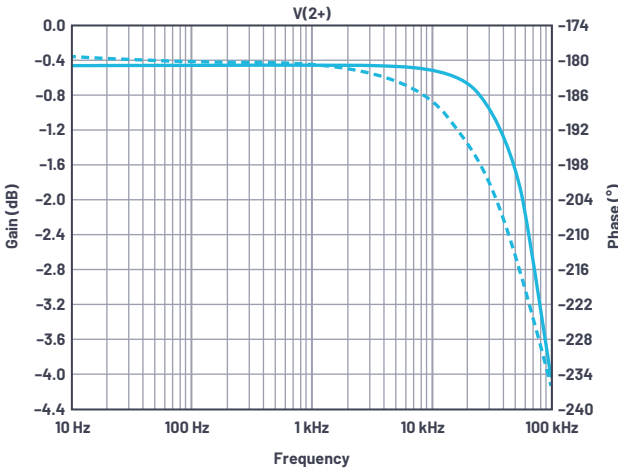


图8. 使用CD4007的单级放大器的关系图

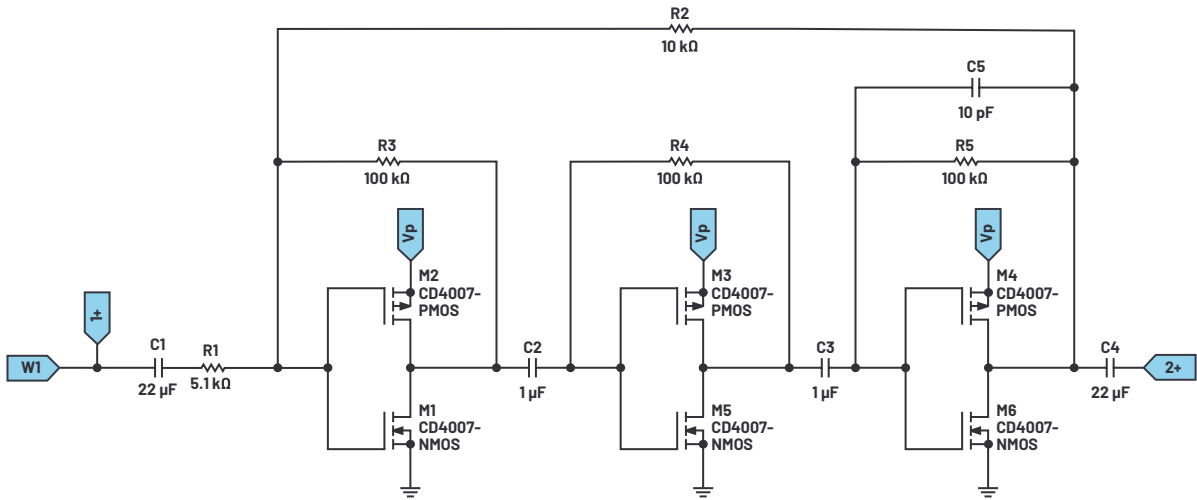


图9. 三级放大器

硬件设置

三级放大器的面包板连接如图10所示。

配置波形发生器生成1kHz正弦波，峰峰值幅度为2V，偏移为0V。

程序步骤

将2V峰峰值幅度和0V偏移的正弦信号应用于输入端，并测量整个系统从10 kHz到100 kHz的增益。使用网络(Bode)分析仪绘制整个系统的增益和相位与频率的关系图。

LTspice关系图示例如图11所示。

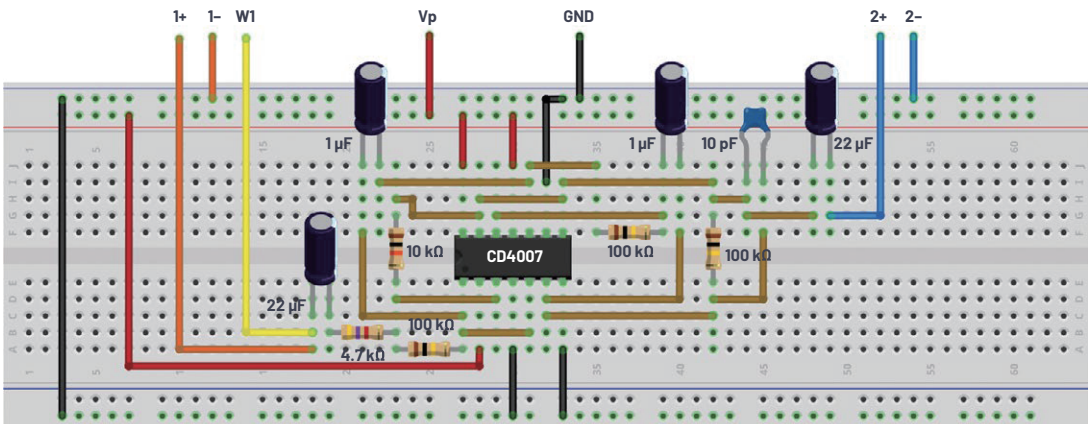


图10. 使用CD4007的三级放大器的硬件设置

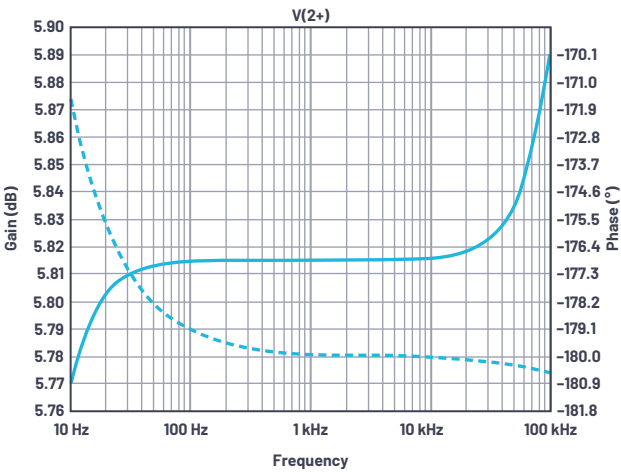


图11. 使用CD4007的三级放大器的关系图

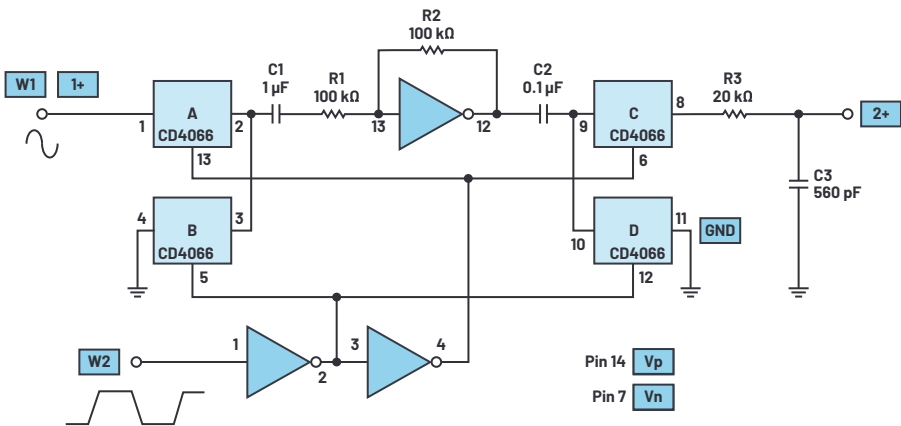


图12. 斩波放大器

附加电路

斩波放大器

CD4069A(UB)无缓冲十六通道CMOS反相器和CD4066四通道模拟开关用作斩波放大器的元件。参考图12可以确定该电路的各种功能。图12左下方的两个反相器产生一个方波及其互补信号，以驱动CD4066的开关控制。这些方波驱动开关，开关A和B在输入端用作单刀双掷开关，而开关C和D在输出端执行相同的功能。图12中间的另一个反相器用作交流耦合放大器，类似于我们刚刚在图6中看到的。

在运行时，输入信号由输入开关调制，并由交流放大器放大，然后由输出开关解调。20 k Ω 、560 pF低通滤波器最大限度地减少了输出中的高频纹波。

问题：

- ▶ 对于图6所示的电路，从输入源W1到反相器输出端看到的输出的增益是多少？
- ▶ 哪些元件决定了图6所示电路的增益？

您可以在[学子专区论坛](#)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：antoniu.miclaus@analog.com。

