

ADI Analog Dialogue

学子专区——2019年9月 简单的运算放大器

作者: Antoniu Miclaus和Doug Mercer

目标

在本实验中,我们介绍一种有源电路——运算放大器,其某些 特性(高输入电阻、低输出电阻和大差分增益)使其成为接近 理想的放大器,并且是很多电路应用中的有用构建模块。在本 实验中,您将了解有源电路的直流偏置,并探索若干基本功能 运算放大器电路。我们还将利用此实验继续培养使用实验室硬 件的技能。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- 无焊面包板和跳线套件
- 一个1 kΩ电阻
- ▶ 两个4.7 kΩ电阻
- 两个10 kΩ电阻
- ▶ 两个0P97(低压摆率放大器随附新版本ADALP2000模拟部件 套件)
- 两个0.1 µF电容(径向引线)

11运算放大器基础知识

第一步: 连接直流电源

运算放大器必须始终采用直流电源供电,因此建议先配置这些 连接,然后添加其他电路元件。图1显示了无焊面包板上一种可 能的电源配置。我们将两根长轨用于提供正负电源电压,另两 根用于可能需要的接地连接。板上包括电源去耦电容,其连接 在电源和接地轨之间。现在详细讨论这些电容的用途还为时过 早,主要是用于降低电源线上的噪声并避免寄生振荡。在模拟 电路设计中,在电路中每个运算放大器的电源引脚附近使用小 型旁路电容是一种良好的做法。

将运算放大器插入面包板,然后添加导线和电容,如图1所示。 为避免以后出现问题,可能需要在面包板上贴一个小标签,指 示哪些电源轨对应+Vp、-Vn和地。应利用颜色区分导线,红色 为Vp,黑色为Vn,绿色为地,这有助于实现有序连接。







图1. 电源连接。

接下来,在ADALM2000板和面包板上的端子之间建立电源和GND 连接。使用跳线为电源轨供电,如图所示。注意,电源GND端 子将是电路接地基准。完成电源连接之后,可能需要使用数 字万用表(DMM)直接探测IC引脚,确保引脚7为5V,引脚4 为-5V。注意,使用电压表测量电压之前,必须运行Scopy软件 并已打开电源。

单位增益放大器(电压跟随器)

背景知识:

第一个运算放大器电路(如图2所示)很简单。这称为单位增益 缓冲器,有时也称为电压跟随器,它由转换函数V₀₀₁ = V_№定义。 乍一看,该电路似乎是一个无用的器件,但正如我们稍后将展 示的那样,其有用之处在于高输入电阻和低输出电阻。



步骤

将第一个波形发生器用作V_№源,向电路提供2 V幅度、1 kHz正弦 波激励。配置示波器,使通道2上显示输入信号,通道1上显示 输出信号。导出所产生的两个波形图,并将其包含在实验报告 中,注意波形参数(峰值和基波时间周期或频率)。您的波形 应当确认其为单位增益或电压跟随器电路的说明。

产生的波形如图4所示。



图4.单位增益跟随器波形。

压摆率限值

对于理想的运算放大器,输出将会精确跟随任何输入信号,但 在实际放大器中,输出信号永远不会立即响应输入信号。当输 入信号是一个快速变化的时间函数时,可以观察到这种非理想 特性。对于大幅度信号,此限制通过压摆率进行量化,即运算 放大器能够提供的输出电压的最大变化率(斜率)。压摆率通 常以V/us表示。



图3. 单位增益跟随器面包板电路。

图2.单位增益跟随器。

硬件设置

使用面包板和ADALM2000电源,构建图3所示的电路。请注意, 此处未明确显示电源连接。任何实际电路中都会进行电源的连 接(如上一步中所做的那样),因此从现在开始没必要都在原 理图中显示出来。使用跳线将输入和输出连接到波形发生器和 示波器引线。别忘了将示波器负输入引线C1-和C2-接地(原理 图中未显示接地连接)。



图5.压摆率。

将波形发生器设置为生成2 V幅度的方波信号,增加频率直到看 到明显偏离理想行为,即当输出开始看起来更像梯形而不是方 波时。可能需要调整示波器显示上的时间量程(sec/div)来观察这 种情况。此时导出输出波形图并测量其10%至90%的上升时间 (和90%至10%的下降时间),如图5中所定义。另请注意输出 信号的峰峰值电压。根据测量结果计算并记录上升和下降输出 的压摆率。评论为什么对上升沿和下降沿的响应可能会不同。

图6给出了一个压摆率示例波形。



图6.压摆率波形。

缓冲示例

运算放大器具有高输入电阻(零输入电流)意味着发生器上的 负载非常小,即没有从源电路汲取电流,因此任何内部戴维宁 电阻上都没有压降。所以,在这种配置中,运算放大器的作用 类似于"缓冲器",可屏蔽信号源,使其免受系统其他部分负 载效应的影响。从负载电路的角度看,缓冲器将非理想电压源 转换成近乎理想的电压源。图7给出了一个简单的电路,我们可 以用它来演示单位增益缓冲器的这个特性。在图中,缓冲器设 置在分压器电路和某一负载电阻之间。



图7.缓冲器示例。

关闭电源并将电阻添加到电路中,如图7所示(注意这里没有 更改运算放大器连接,我们只是相对于图2翻转了运算放大器 符号)。

打开电源并将波形发生器设置为生成具有4 V幅度的1 kHz正弦信号。使用示波器同时观察V_M和V_{out},并在实验报告中记录幅度。

移除10 kΩ负载,代之以1 kΩ电阻。记录幅度。

现在移动引脚3和地之间的1 kΩ负载,使其与4.7 kΩ电阻并联。 记录输出幅度如何变化。您能预测新的输出幅度吗?

1.2 放大器的简单配置

反相放大器

背景知识:

图8所示为常规反相放大器配置,输出端有10 kΩ负载电阻。



图8.反相放大器配置。

硬件设置

现在组装图9所示的反相放大器电路,其中R2 = 4.7 kΩ。组装新 电路之前,请记得关闭电源。根据具体需要切割和弯曲电阻引 线,使其平放在电路板表面,并为每个连接使用最短的跳线 (如图1所示)。记住,使用面包板有很大的灵活性。例如,电 阻R2的引线不一定要直接连接在将运算放大器引脚2和引脚6之 间;可以使用中间节点和跳线来绕过该器件。

打开电源并观察电流消耗,确保没有意外短路。现在调整波形 发生器,在输入端(V_M)产生2 V幅度、1 kHz正弦波,并再次在示 波器上显示输入和输出波形。测量和记录此电路的电压增益, 并与讨论过的理论值进行比较。导出输入/输出波形图并将其包 含在实验报告中。

借此机会说一下电路调试。在练习中,可能会遇到电路无法工作的情况。这也在意料之中,没有人能做到十全十美。但是, 不应认为电路不工作必定意味着器件或实验仪器有故障。事实 往往并非如此,99%的电路问题都是简单的接线或电源错误。 即便是经验丰富的工程师也会不时犯错,因此,学会如何调试 电路并解决问题是学习过程中非常重要的一部分。为您诊断错 误不是助教的责任,如果您以这种方式依赖其他人,那么您就 错过了实验的一个关键点,您将很难在以后的课程中取得成 功。除非运算放大器冒烟或电阻上出现了棕色烧伤痕迹或者电



图9.反相放大器面包板电路。

容发生爆炸,否则您的元器件很可能没问题。事实上,大多数 器件在发生重大损伤之前都能容忍一定程度的滥用。当电路方 案行不通时,建议关闭电源并寻找原因,而不是归咎于器件或 设备问题。在这方面,数字万用表(DMM)是一件十分有价值 的调试工具。

的限制,而在很多情况下,由于电路中存在内部电压降,实际限 制要远小于电源电压。根据测量结果量化0P97的内部压降。

求和放大器电路

背景知识

步骤

将第一个波形发生器用作V_N源,向电路提供2 V幅度、1 kHz正弦 波激励。配置示波器,使通道2上显示输入信号,通道1上显示 输出信号。

图10.反相放大器波形。

产生的波形如图10所示。

输出饱和

现在将图8中的反馈电阻R2从4.7 kΩ更改为10 kΩ。现在的增益是多 少? 将输入信号的幅度缓慢增加至2 V,并将波形导出到实验室 笔记本电脑中。任何运算放大器的输出电压最终都会受电源电压

图11所示电路是一个带有额外输入的基本反相放大器,称为 求和放大器。使用叠加法,我们可以证明Vout是Vini和Vin2的线性 和,其中每个都有自己独特的增益或比例系数。



图11. 求和放大器配置。

硬件设置

关闭电源后,修改反相放大器电路,如图12所示。将第二个波 形发生器输出用于Ⅴ№。将幅度设置为零,这样就可以在实验中 从零调高。

现在为V_{M1}施加2 V幅度正弦波,并为V_{M2}施加1 V直流电压。观察 并记录示波器界面上的输入/输出波形。密切注意示波器界面上 输出通道的接地信号电平。以这种方式使用时,这样的电路可 以称为电平转换器。



图12. 求和放大器面包板电路。

调整波形发生器W1的直流偏置(V_{N1}),直到V₀₀具有零直流分量。 通过观察示波器上的输入波形来估算所需的直流偏置(注意: 它不是-V_{N2})。

将波形发生器W1的偏置重置为零。将示波器的通道2(连接到 运算放大器输出的通道)设置为2V/div时,缓慢增加波形发生器 W2的偏置电压V_{M2}。V_{00T}会怎样?记录输出的直流电压。

将波形发生器W2的偏置电压恢复为大约1 V。将示波器设置为1 V/div 并调整示波器,这样就可以看到完整的V₀uī波形。将V_{№2}调回到上 一步中增加到的值。V₀uī的示波器曲线会是什么样子?放大器看 起来是在放大吗?

步骤

将第一个波形发生器用作Ⅷ源,向电路提供2 V幅度、1 kHz正弦 波激励。第二个波形发生器用于产生1 V恒定电压。配置示波器, 使通道2上显示输入信号,通道1上显示输出信号。

产生的波形如图13所示。



图13. 求和放大器波形。

同相放大器

背景知识

同相放大器配置如图14所示。与单位增益缓冲器一样,此电路 具有(通常)较好的高输入电阻特性,因此它可用于缓冲非理 想信号源:



图14. 具有增益的同相放大器。

硬件设置

组装图15所示的同相放大器电路。组装新电路之前,请记得关闭电源。首先将R2 设置为1 kΩ。

在输入端施加2 V幅度、1 kHz正弦波,并在示波器上显示输入和 输出。测量此电路的电压增益,并与之前讨论的理论值进行比 较。导出波形图并将其包含在实验报告中。

将反馈电阻(R2)从1 kΩ增加到约5 kΩ。现在的增益是多少?

进一步增加反馈电阻,直到信号出现削波,也就是说,直到输 出信号的峰值因为输出饱和而开始变平。记录这种情况发生时 的电阻值。现在将反馈电阻增加到100 kΩ。在您的笔记本电脑 中查看绘制的波形。此时的理论增益是多少?考虑此增益,输 入信号必须小到什么程度才能使输出电平始终低于5 V?尝试将 波形发生器调整到此值。描述所得到的输出。



图15. 同相放大器面包板电路。

最后一步强调高增益放大器的重要考虑因素。对于小输入电 平,高增益必然意味着大输出。有时,由于某些低电平噪声或 干扰放大,可能会导致意外饱和,例如有时可能拾取电力线中 的60 Hz(或者50 Hz)杂散信号,并将其放大。放大器会放大输 入端的任何信号,无论您是否需要!

将第一个波形发生器用作V_N源,向电路提供2 V幅度、1 kHz正弦

波激励。配置示波器,使通道2上显示输入信号,通道1上显示



作者简介

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院士。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。

产生的波形如图16所示。



图16. 同相放大器波形。

问题

步骤

输出信号。

- 考虑图8中的反相放大器,计算R1 = 1 kΩ且R2 = 4.7 kΩ时的 增益。
- 考虑图14中的同相放大器,计算R1 = 1 kΩ且R2 = 1 kΩ时的 增益。

您可以在学子专区博客上找到问题答案。



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[®]嵌入式软件和QA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。

