

学子专区— ADALM2000实验： 放大器输出级

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

目标

本次实验旨在研究简单推挽放大器的输出级（B类和AB类）。

背景信息

输出级的作用是提供功率增益。它应该具有高输入阻抗和低输出阻抗。该级的一个显而易见的选择就是发射极跟随器。但是，为了同时提供拉电流和灌电流能力，需要两个互补跟随器：一个NPN型用于拉电流，一个PNP型用于灌电流。结果就是所谓推挽配置，图1显示了一个简单例子。R1和R2用于检测Q1和Q2的集电极电流，以及在输出过载的情况下限制这些电流。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 两个100 Ω 电阻
- ▶ 一个2.2 k Ω 电阻
- ▶ 两个10 k Ω 电阻
- ▶ 两个小信号NPN晶体管（最好是具有匹配 V_{BE} 的SSM2212）
- ▶ 两个小信号PNP晶体管（最好是具有匹配 V_{BE} 的SSM2220）

说明

开始之前，请确保关闭ADALM2000上的电源。电路和实验室硬件的连接如图1所示。示波器输入1应连接到Q1和Q2基极的接合处。示波器输入2应连接到Q1和Q2发射极的接合处。

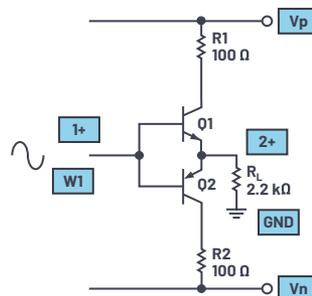


图1. 推挽输出级

硬件设置

示波器的通道1应连接为显示第一发生器的输出，两个通道（1和2）均应设置为以每格1V显示输出。面包板连接如图2所示。

程序步骤

波形发生器W1配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度约为6 V，偏移为0。将正电源(Vp)设置为+5 V，将负电源(Vn)设置为-5 V。使用示波器通道1观察W1的输入，使用示波器通道2观察放大器在 R_L 处的输出。图3为Scopy波形图示例。

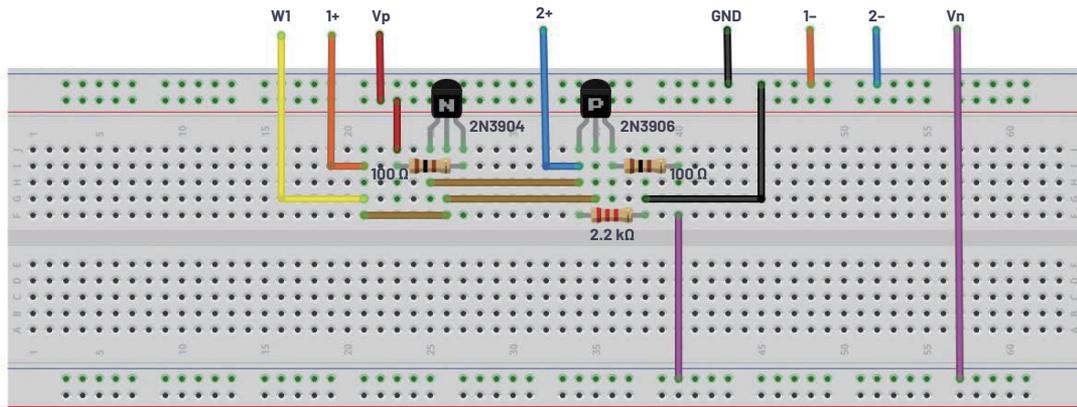


图 2. 推挽输出级面包板电路

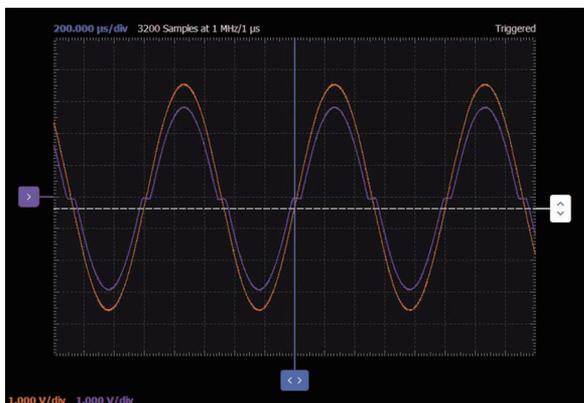


图 3. 推挽输出级波形

接下来施加电源并调整波形发生器，使W1为100 Hz三角波，其偏移到0 V，峰峰值幅度为3 V。在x-y模式下使用示波器观察电路的电压传输曲线。图4为Scopy XY波形图示例。



图 4. 电压传输曲线

减少输出失真

在图1所示的基本推挽级中，过零处的大量失真是死区——此时NPN和PNP发射极跟随器均关闭——造成的结果。如果用两个 V_{BE} 压降预偏置BJT，则波形在过零处的死区大幅减少，如图5所示。这里，预偏置功能由二极管连接的NPN Q1和PNP Q3提供。电阻R1和R2提供偏置电流，并设置流入输出器件Q2和Q4中的空闲电流。

说明

在电源关闭的情况下，组装图5所示电路，引线应尽可能短且整洁。NPN晶体管Q1和Q2以及PNP晶体管Q3和Q4应从 V_{BE} 匹配最佳的可用器件中选择。在同一封装中制造的晶体管，例如SSM2212或CA3046，往往比单个器件匹配得更好。

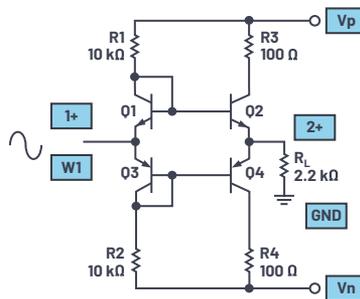


图 5. 具有过零失真消除功能的推挽输出级

考察图5中由Q1、Q2、Q3和Q4的基极发射极电压形成的环路，我们知道环路周围的压降之和必须为零。因此，如果Q1与Q2相同，并且Q3与Q4相同，则仅当Q1中的电流与Q2中的电流相同，并且Q3中的电流与Q4中的电流相同时，环路周围的电压才会为零。当输出为0V——也就是说 R_L 中没有电流，输入也必然为0V。

硬件设置

示波器的通道1应连接第一路信号发生器的输出，两个通道(1和2)均应设置为以每格1V显示输出。面包板连接如图6所示。

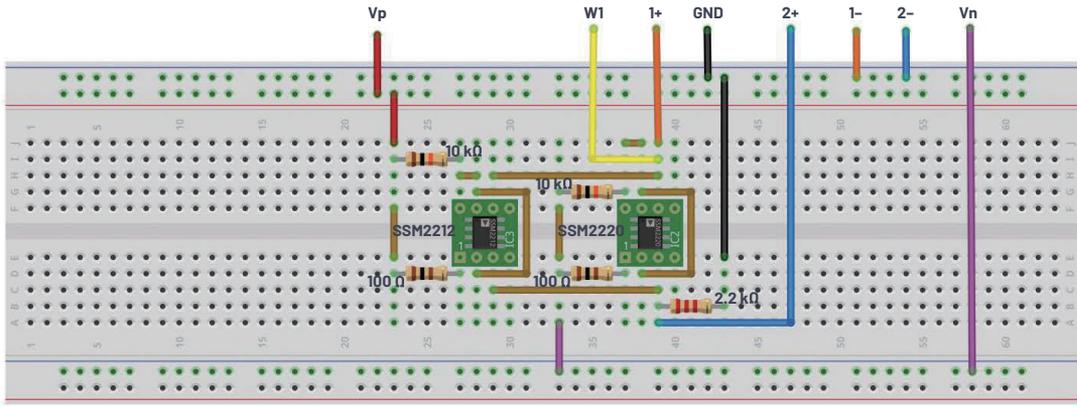


图 6. 具有过零失真消除功能的推挽输出级面包板电路

程序步骤

波形发生器W1配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度约为6.0 V，偏移为0。使用示波器通道1观察W1的输入，使用示波器通道2观察放大器在R_L处的输出。

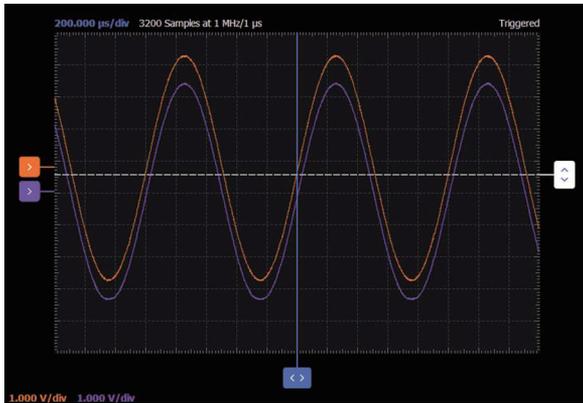


图 7. 具有过零失真消除功能的推挽输出级波形

另一种配置

记住由Q1、Q2、Q3和Q4的基极发射极电压形成的环路，我们还知道环路周围压降的顺序可以互换。因此，如果互换NPN Q1和PNP Q3的V_{BE}值，我们将得到图8所示的配置。有些人可能意识到，Q3和Q2的组合就是我们在4月份文章“[ADALM2000实验：发射极跟随器\(BJT\)](#)”中讨论的低失调跟随器。电路利用PNP发射极跟随器的V_{BE}向上偏移来部分抵消NPN发射极跟随器的V_{BE}向下偏移。晶体管Q1和Q4分别与Q3和Q2互补。

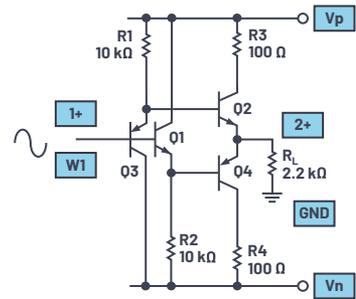


图 8. 发射极跟随器过零失真消除

硬件设置

示波器的通道1应连接第一路信号发生器的输出，两个示波器通道(1和2)均应设置为以每格1V显示输出。面包板连接如图9所示。

程序步骤

波形发生器W1配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度约为6 V，偏移为0。使用示波器通道1观察W1的输入，使用示波器通道2观察放大器在R_L处的输出。

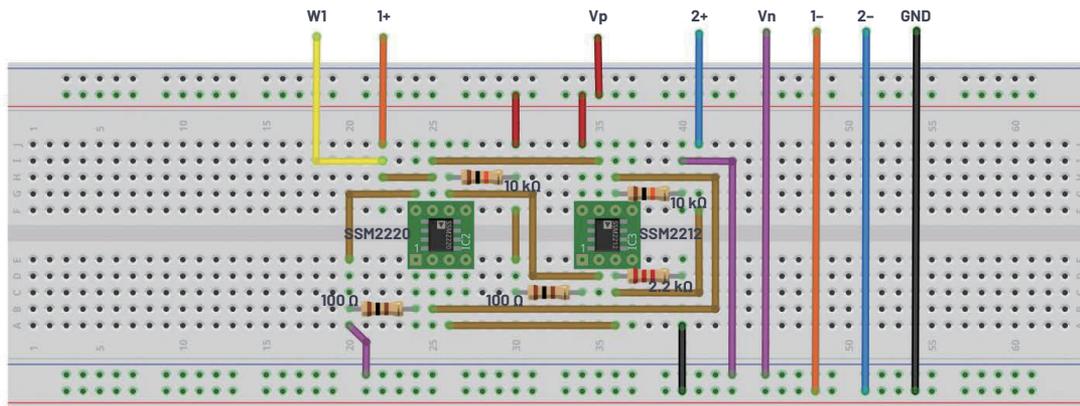


图 9. 发射极跟随器过零失真消除面包板电路

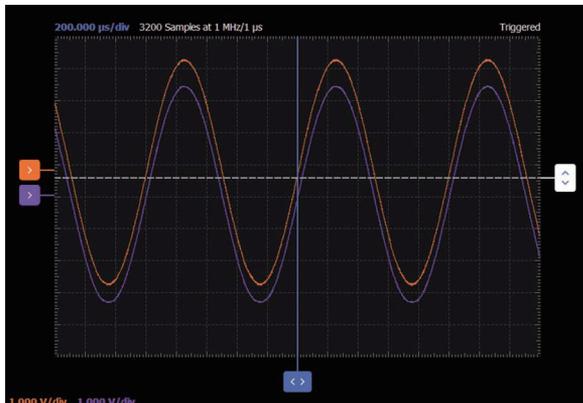


图 10. 发射极跟随器过零失真消除波形

问题:

- ▶ 对于图5中的电路（具有过零失真消除功能的推挽输出级）和图8中的电路（发射极跟随器过零失真消除），仿真并绘制输入输出传输曲线。这些电路与图9中的电路相比如何？



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。

