

# 学子专区— ADALM2000实验： 共发射极放大器

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BJT的共发射极配置。

## 背景知识

共发射极放大器是三种基本单级放大器拓扑之一。BJT共发射极放大器一般用作反相电压放大器。晶体管的基极端为输入，集电极端为输出，而发射极为输入和输出共用（可连接至参考地端或电源轨），所谓“共射”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NPN晶体管(2N3904)

## 指导

图1所示配置展现了用作共发射极放大器的NPN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集电极电流 $I_C$ 。 $V_{CE}$ 电压约为 $V_p$  (5 V)的一半。通过可调电阻RPOT与 $R_B$ 来设置晶体管( $I_b$ )的标

称偏置工作点，进而设置所需的 $I_C$ 。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。考虑到在晶体管 $V_{BE}$ 的基极上会出现非常小的信号，这样做更容易查看发生器W1信号。衰减波形发生器W1信号通过4.7 μF电容交流耦合到晶体管基极，以免干扰直流偏置条件。

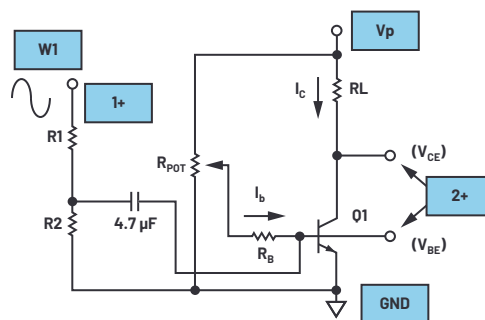


图1. 共发射极放大器测试配置。

## 硬件设置

波形发生器输出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Q1基极和集电极的波形。

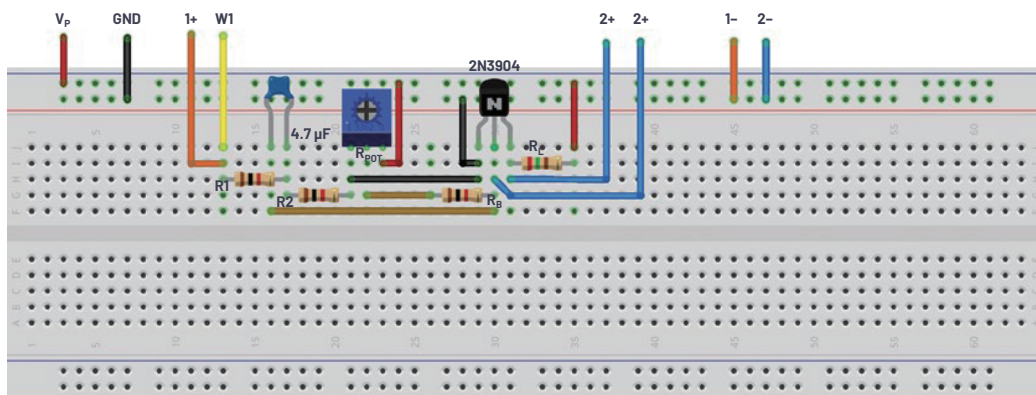


图2. 共发射极放大器测试配置面包板连接。

## 程序步骤

打开连接到BJT晶体管集电极( $V_p = 5\text{ V}$ )的电源。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

图3和图4是使用LTspice® 得到的仿真电路波形图示例。

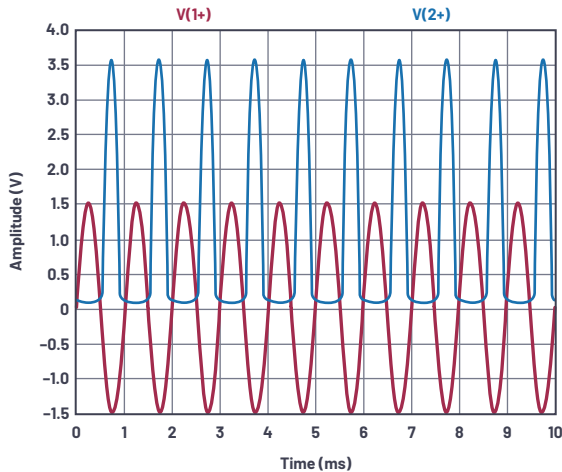


图3. 共发射极放大器测试配置,  $V_{in}$ 和 $V_{CE}$ 。

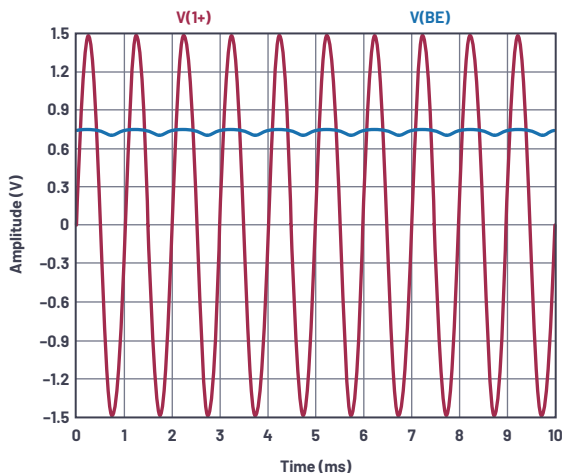


图4. 共发射极放大器测试配置,  $V_{in}$ 和 $V_{BE}$ 。

共发射极放大器的电压增益 $A$ 可以表示为负载电阻 $R_L$ 与小信号发射极电阻 $r_e$ 的比值。晶体管的跨导 $g_m$ 是集电极电流 $I_c$ 和所谓的热电压 $kT/q$ 的函数, 在室温下其近似值约为25 mV或26 mV。

$$g_m = \frac{1}{r_e} = \frac{-qI_c}{kT} \quad (1)$$

小信号发射极电阻为 $1/g_m$ 且可视为与发射极串联。现在, 在基极上施加电压信号, 相同的电流(忽略基极电流)会流入 $r_e$ 和集电极负载 $R_L$ 。因此, 由 $R_L$ 与 $r_e$ 的比值可得到增益 $A$ 。

$$A = \frac{-R_L}{r_e} = \frac{-qI_c R_L}{kT} \quad (2)$$

图5所示为另一种共发射极放大器测试电路方案。除了两个小优势之外, 所有属性基本相同。其中一个优势是基极电流偏置不再取决于指数基极电压( $V_{BE}$ )。第二个优势是AWG1衰减后输出的交流小信号与基极偏置电路无关, 并且无需交流耦合。当把交流小信号接在运算放大器的同相端子时, 由于负反馈的作用, 它也会出现在晶体管的基极端(反相运算放大器输入)。

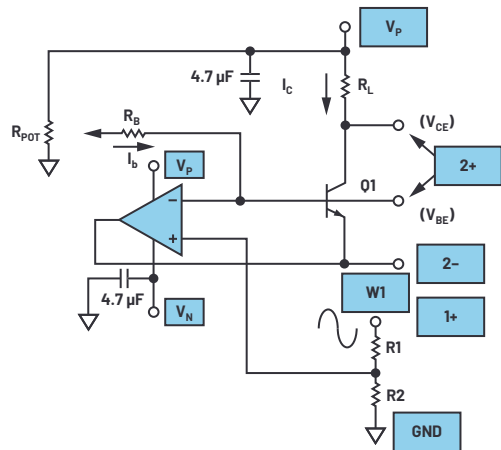


图5. 替代方案的共发射极放大器测试配置。

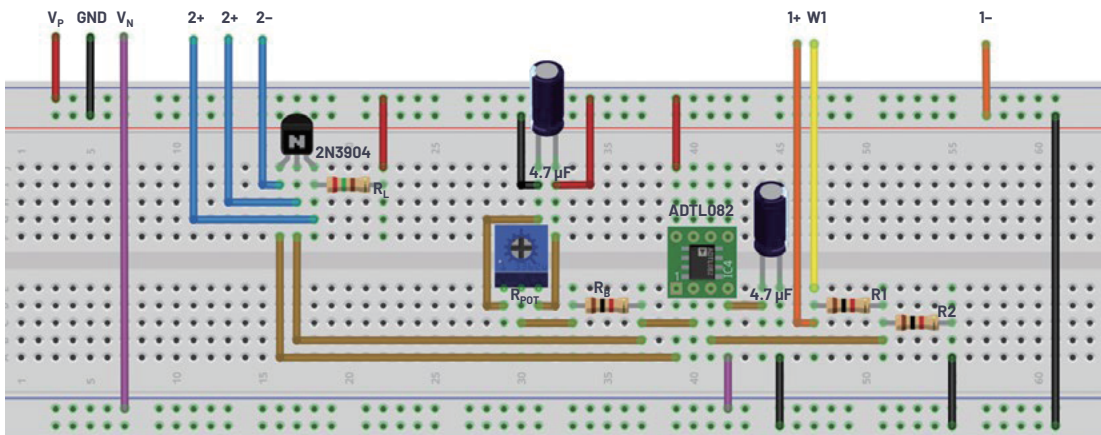


图6. 替代方案的共发射极放大器测试配置面包板连接。

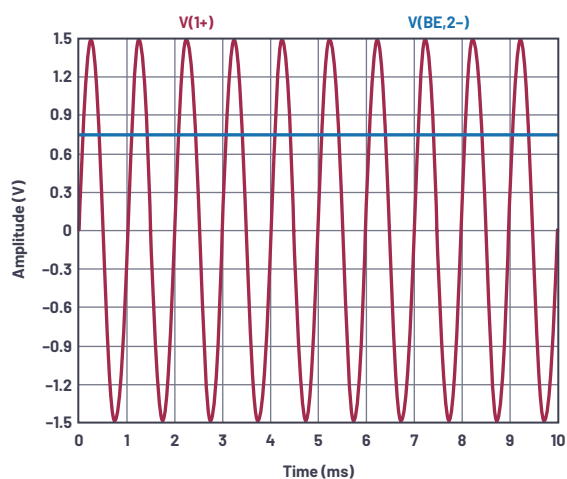


图7. 替代方案的共发射极放大器测试配置， $V_{IN}$ 和 $V_{BE}$ 。

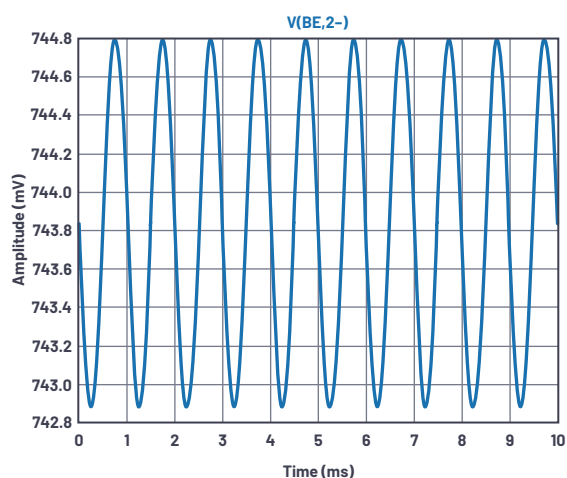


图8. 替代方案的共发射极放大器测试配置 $V_{BE}$ 缩放。

## 提供负反馈的自偏置配置

### 目标

本节旨在研究添加负反馈对稳定直流工作点的效果。晶体管电路最常用的一种偏置电路是发射极自偏置电路，它使用一个或多个偏置电阻来设置晶体管 $I_B$ 、 $I_C$ 和 $I_E$ 三个初始直流电流。

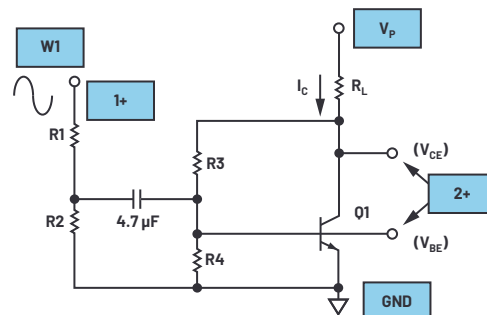


图9. 自偏置配置。

### 硬件设置

波形发生器输出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Q1基极和集电极的波形。

### 程序步骤

打开连接到BJT晶体管集电极( $V_P = 5$  V)的电源。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

图11和图12是使用LTspice® 得到的仿真电路波形图示例。

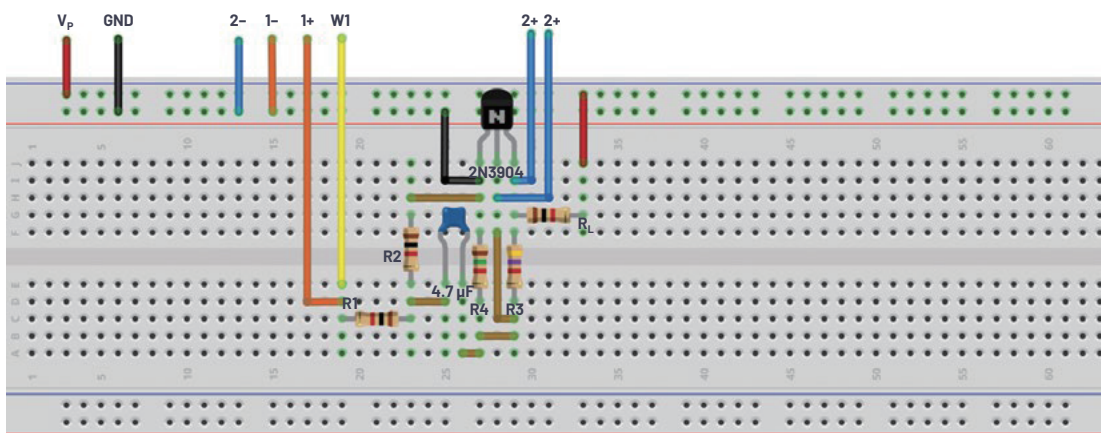


图10. 自偏置配置面包板连接。

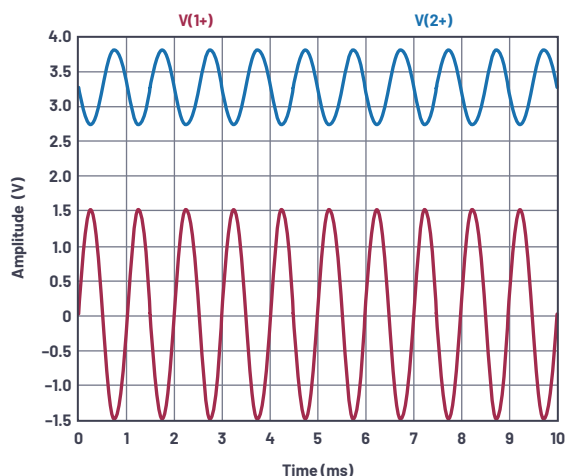


图11. 自偏置配置,  $V_{in}$ 和 $V_{ce}$ 。

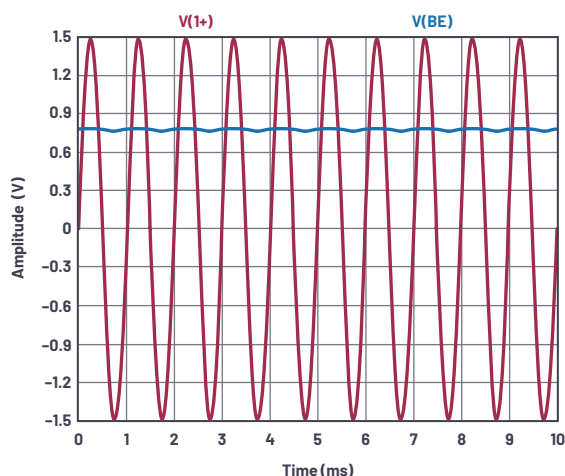


图12.自偏置配置,  $V_{in}$ 和 $V_{BE}$ 。

## 添加发射极负反馈

### 目标

本活动的目的是研究添加发射极负反馈的影响。

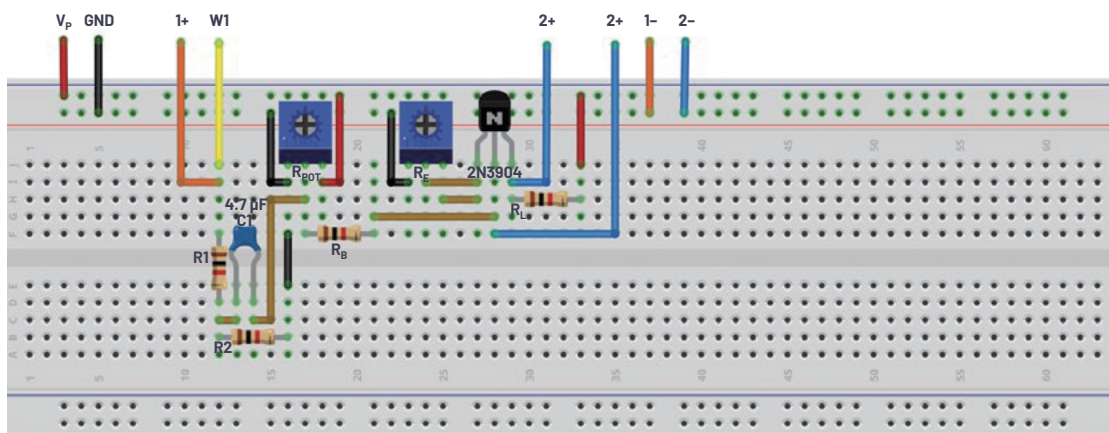


图14. 添加了发射极负反馈的面包板连接。

## 背景知识

共发射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。此外，由于与温度和偏置电流密切相关，增益有时无法预测。可以通过在放大器级配置一个小值反馈电阻来改善电路的性能。

## 附加材料

一个5 kΩ可变电阻、电位计

## 指导

如图13所示，断开Q1发射极的接地连接，插入 $R_E$ （一个5 kΩ电位计）。调整 $R_E$ ，同时注意观察晶体管集电极上的输出信号。

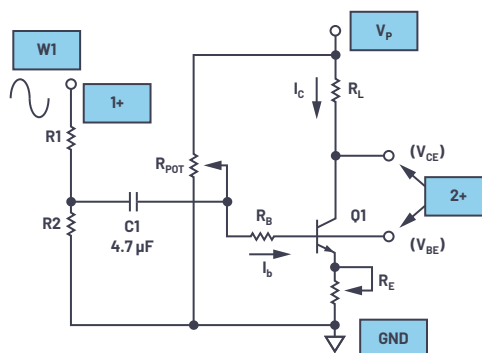


图13. 添加了发射极负反馈。

## 硬件设置

波形发生器输出W1配置为1 kHz正弦波，峰峰值幅度为3 V，偏移为0 V。并将其连在接示波器通道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Q1基极和集电极的波形。

## 程序步骤

打开连接到BJT晶体管集电极( $V_P = 5\text{ V}$ )的电源。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

图15和图16是使用LTspice® 得到的仿真电路波形图示例。

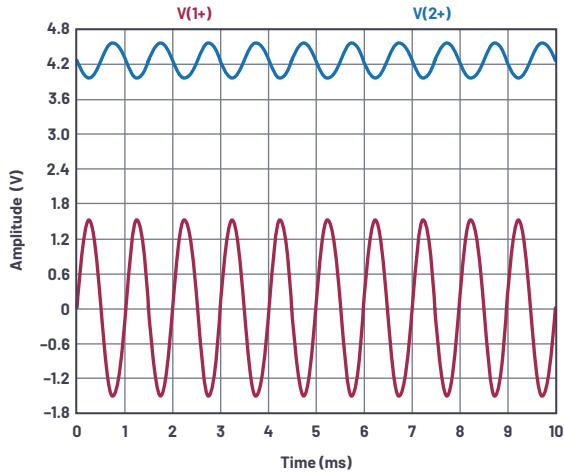


图15. 添加了发射极负反馈,  $V_{IN}$ 和 $V_{CE}$ 。

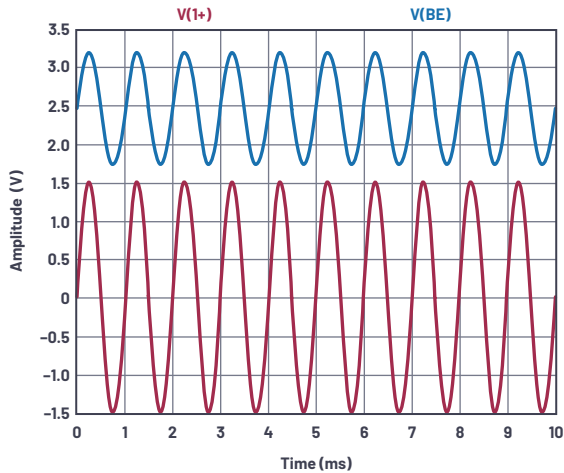


图16. 添加了发射极负反馈,  $V_{IN}$ 和 $V_{BE}$ 。

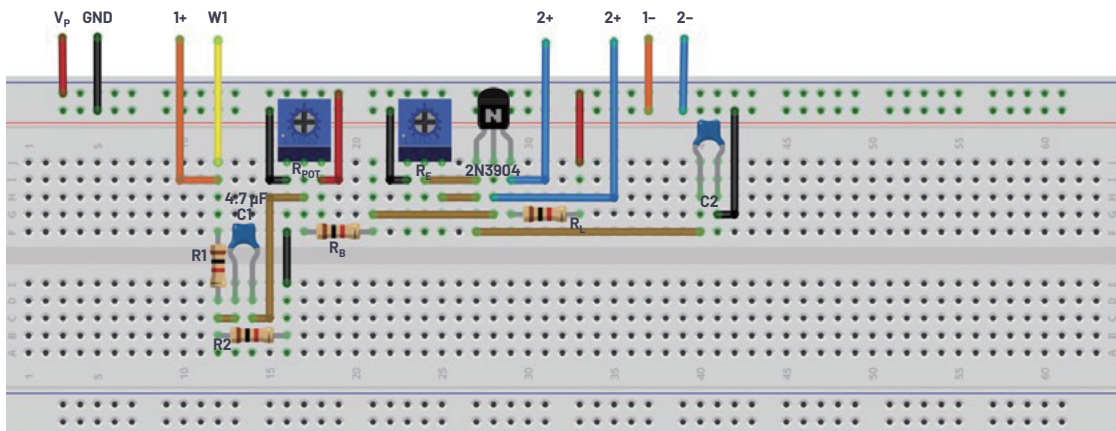


图18. 添加C2之后的面包板连接, 用于提高交流增益。

## 提高发射极负反馈放大器的交流增益

添加发射极负反馈电阻提高了静态工作点的稳定性, 但降低了放大器增益。可通过在负反馈电阻 $R_E$ 上添加电容C2, 在一定程度上恢复了交流信号的较高增益, 如图17所示。

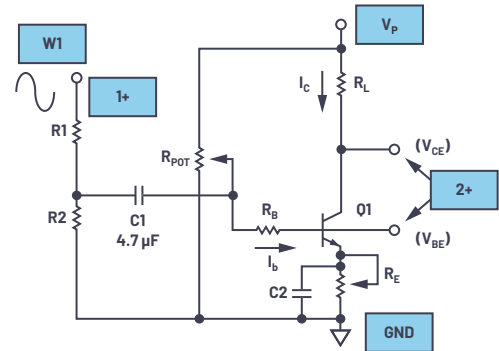


图17. 添加C2可提高交流增益。

## 硬件设置

波形发生器输出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Q1基极和集电极的波形。

## 程序步骤

打开连接到BJT晶体管集电极( $V_P = 5\text{ V}$ )的电源。

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

图19和图20是使用LTspice® 得到的仿真电路波形图示例。

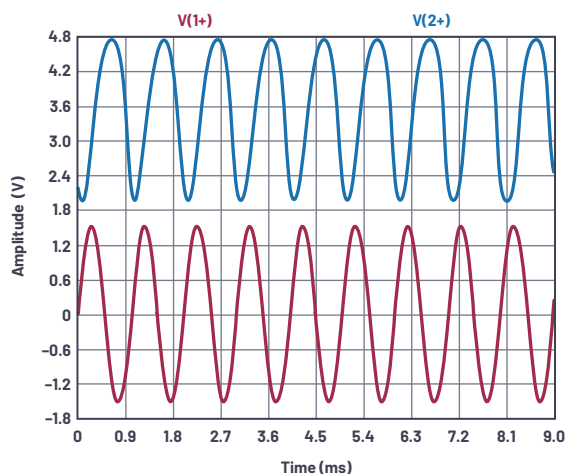


图19. 添加C2可提高交流增益 $V_{in}$ 和 $V_{ce}$ 。

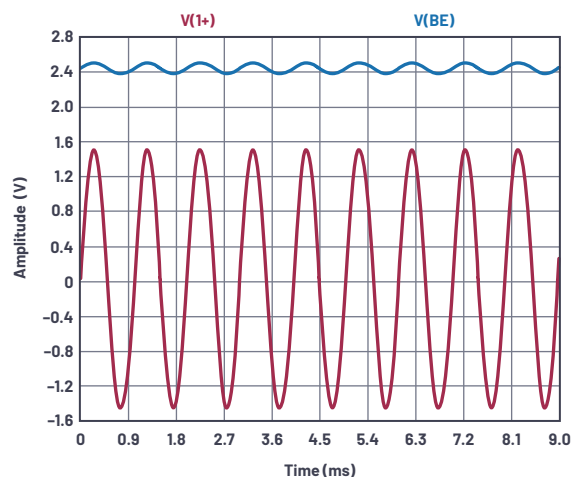


图20. 添加C2可提高交流增益 $V_{in}$ 和 $V_{be}$ 。

## 问题

- 对于共发射极放大器电路设置，增加 $R_L$ 会对电压增益A产生什么影响？

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](mailto: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](mailto:antoni.miclaus@analog.com)。

