ANALOG DEVICES 超越一切可能™ | ADI AnalogDialogue

学子专区—活动：BJT电流镜

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

目标：

本实验的目的是研究双极性结型晶体管(BJT)电流源或电流镜。电流源的重要特性包括：在宽顺从电压范围保持高输出阻抗、能抑制外部变化（如电源或温度）的影响。

背景知识

电流镜是一种电路模块，通过复制输出端子的电流来产生完全一样的流入/流出输入端子电流。简单的两晶体管电流镜主要是依靠两个大小相同，在相同温度下具有相同的V_{BE}的晶体管具有相同的漏极或集电极电流来实现的。电流镜的一个重要特性是输出阻抗相对较高，因此无论在何种负载条件下，输出电流都可以保持恒定不变。电流镜的另一个特性是输入电阻相对较低，因此无论在何种驱动条件下，输入电流都可以保持恒定不变。复制的电流可以而且通常都是一个不断变化的信号电流。电流镜常用于在放大级中提供偏置电流和有源负载。

材料：

- ADALM2000主动学习模块
- 无焊面包板
- 跳线
- 两个1 kΩ电阻（阻值尽可能接近，或者测量到三位数字或更精确）
- 两个小信号NPN晶体管（2N3904或SSM2212）
- 一个双通道运算放大器（例如ADTL082）
- 两个4.7μF解耦电容

说明

可以重复使用共发射极BJT曲线量测仪实验中使用的基本配置来测量电流镜特性。输入电阻R1和输出电阻R2现在都是1 kΩ。一定要准确测量（尽可能使用更多的有效位数）R1和R2的实际值，以确保准确测量电流镜的输入和输出电流。I_{IN}等于W1处的AWG2输出电压除以R1的值。I_{OUT}等于Scope Channel 2测量的电压除以R2的值。二极管连接的晶体管Q1跨接在Q2的基极和发射极端子。

在电流镜配置中，运算放大器作为电流镜输入（基极）节点的虚拟地，将来自AWG2 (W2)的电压阶跃转化为通过1 kΩ电阻的电流阶跃。

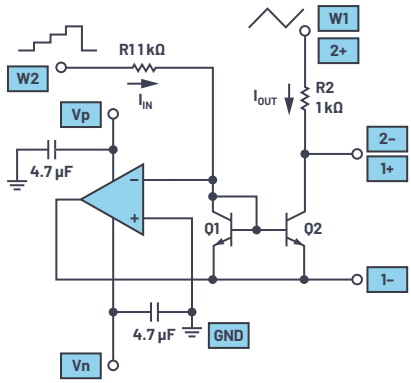

图1. 电流镜测试电路。

如果您不想使用运算放大器配置，也可以使用图2所示的简化配置。

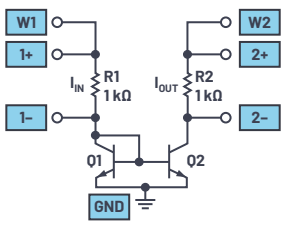

图2. 备选的简单电流镜测试电路。

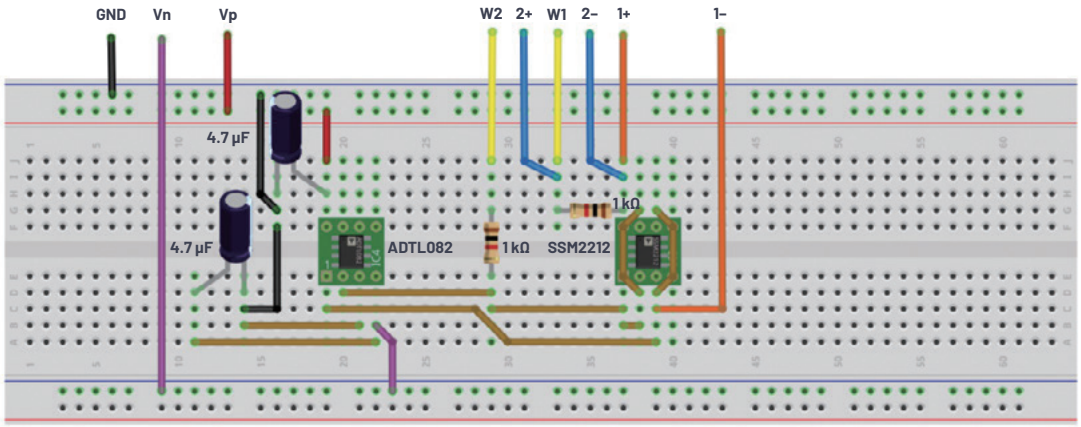

图3. 电流镜测试电路的面包板连接（带运算放大器）。

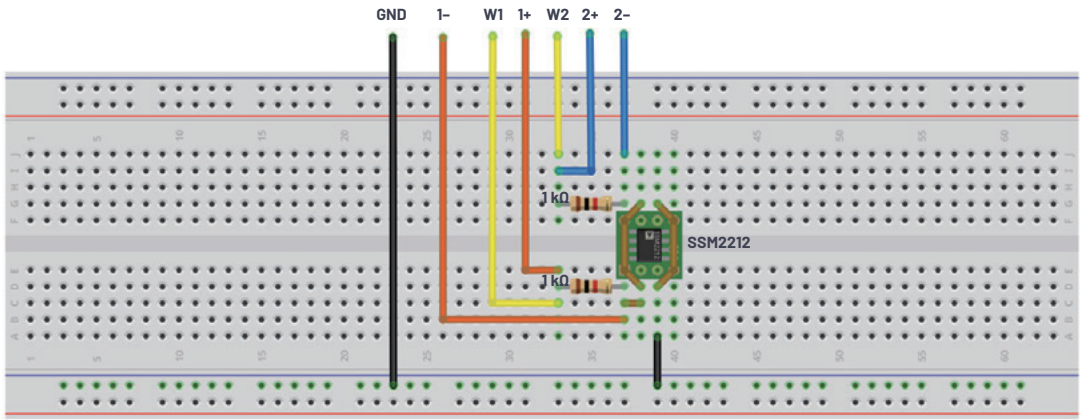

图4. 简单的电流镜测试电路的面包板连接。

硬件设置

加载适用于信号发生器的W2通道的stairstep.csv文件，将幅度设置为3 V峰峰值，偏置设置为1.5 V。输出器件Q2的V_{CE}由示波器输入1+和1-进行差分测量。电流镜输出电流通过1 kΩ电阻R2两端的示波器输入2+和2-测量。集电极电压使用来自AWG 1（输出W1）、频率为40 Hz的三角波形进行扫描。如果您要使用运算放大器设置，请确保该器件已正确连接至电源Vp (5 V)和Vn (–5 V)。

程序步骤

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。如果您要使用运算放大器配置，确保已开启电源。

使用Scopy工具提供的示波器或通过LTspice®仿真绘制这两个波形。下图提供了示例。

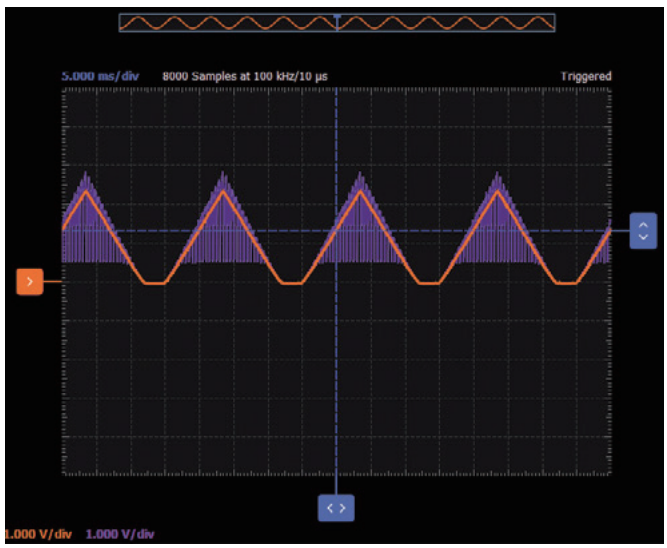

图5. 如Scopy绘图所示，W2为10 kHz频率时的电流镜波形。

现在，将W1的频率更改为200 Hz，然后绘制两个波形。对相同电路使用LTspice仿真的示例如图6所示。

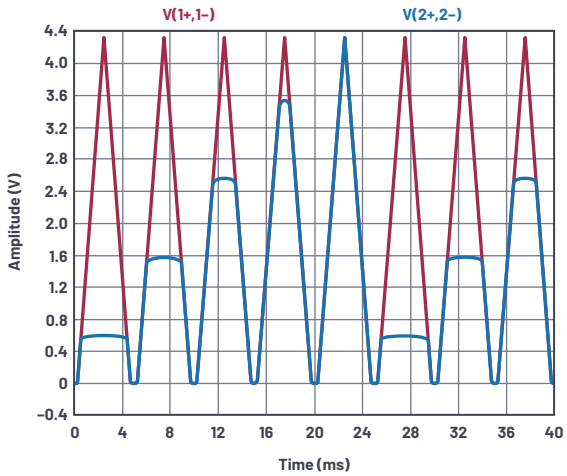

图6. 如LTspice绘图所示，W1为200 Hz、W2为40 Hz时的电流镜波形。

带基极电流补偿的电流镜

如图7所示，通过添加基极电流补偿晶体管Q3来修改简单的电流镜电路。使用发射极跟随器缓冲器替代将Q1的集电极连接至基极。对简单电流镜的这种改进被称为发射极跟随器增强镜。发射极跟随器缓冲级(Q2)的电流增益可以大幅降低由Q1和Q2的有限基极电流引起的增益误差。

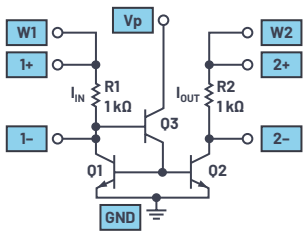

图7. 带基极电流补偿的电流镜。

硬件设置

加载适用于信号发生器的W2通道的stairstep.csv文件，将幅度设置为3 V峰峰值，偏置设置为1.5 V。输出器件Q2的V_{CE}由示波器输入1+和1-进行差分测量。电流镜输出电流通过1 kΩ电阻R2两端的示波器输入2+和2-测量。集电极电压使用来自AWG1（输出W1）、频率为40 Hz的三角波形进行扫描。将正电源Vp (+5 V)连接至Q3晶体管的集电极。

程序步骤

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。打开正电源。

使用Scopy工具提供的示波器或通过LTspice仿真绘制这两个波形。示例如图9所示

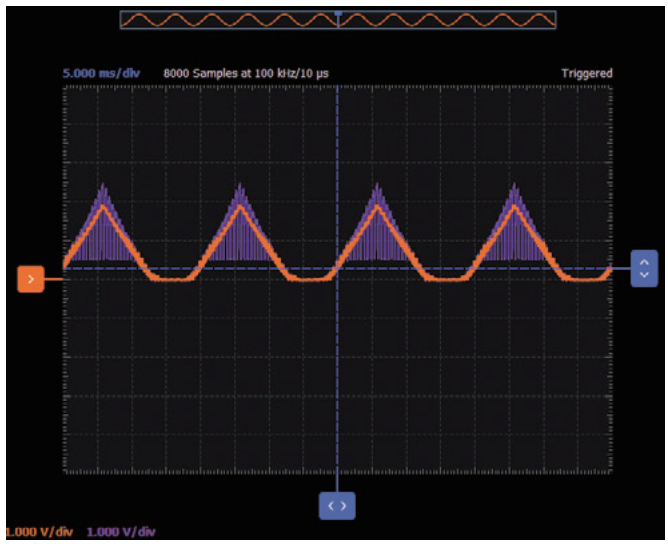

图9. 如Scopy绘图所示，W2为10 kHz频率时的电流镜波形。

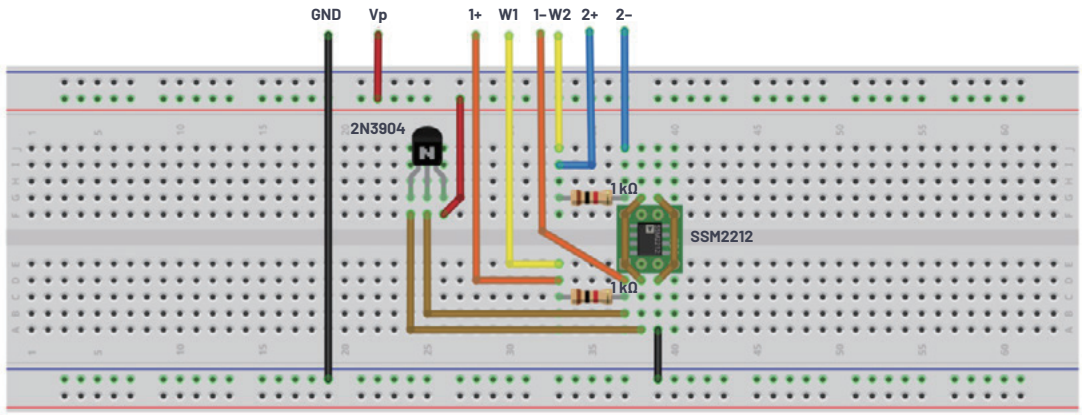

图8. 带基极电流补偿的电流镜的面包板连接。

威尔逊电流镜

威尔逊电流镜或威尔逊电流源以乔治•威尔逊的名字命名，是一种改进的电流镜电路配置，旨在提供更恒定的电流源或电流吸收器。它提供更准确的输入-输出电流增益。如图10所示，将简单的电流镜更改为威尔逊电流镜。

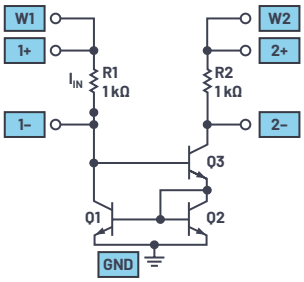

图10. 威尔逊电流镜。

硬件设置

加载适用于信号发生器的W2通道的stairstep.csv文件，将幅度设置为3 V峰峰值，偏置设置为1.5 V。输出器件Q2的V_{CE}由示波器输入1+和1-进行差分测量。电流镜输出电流通过1 kΩ电阻R2两端的示波器输入2+和2-测量。集电极电压使用来自AWG1（输出W1）、频率为40 Hz的三角波形进行扫描。

程序步骤

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

使用Scopy工具提供的示波器或通过LTspice仿真绘制这两个波形。Scopy波形图示例如图12所示。

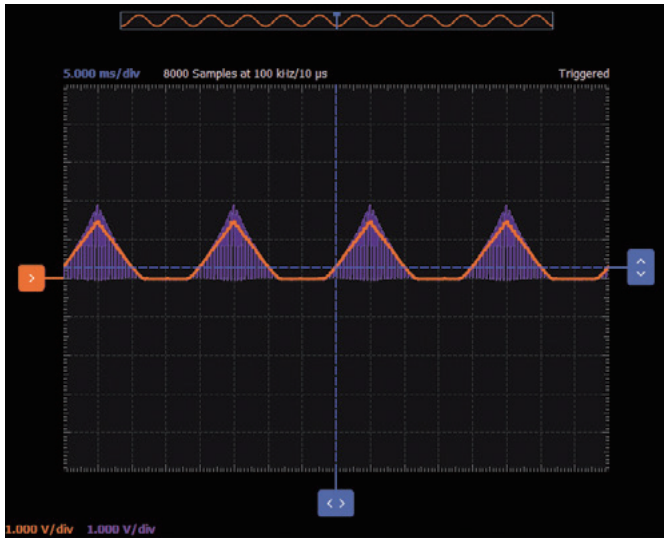

图12. 如Scopy绘图所示，W2为10 kHz频率时的威尔逊电流镜波形。

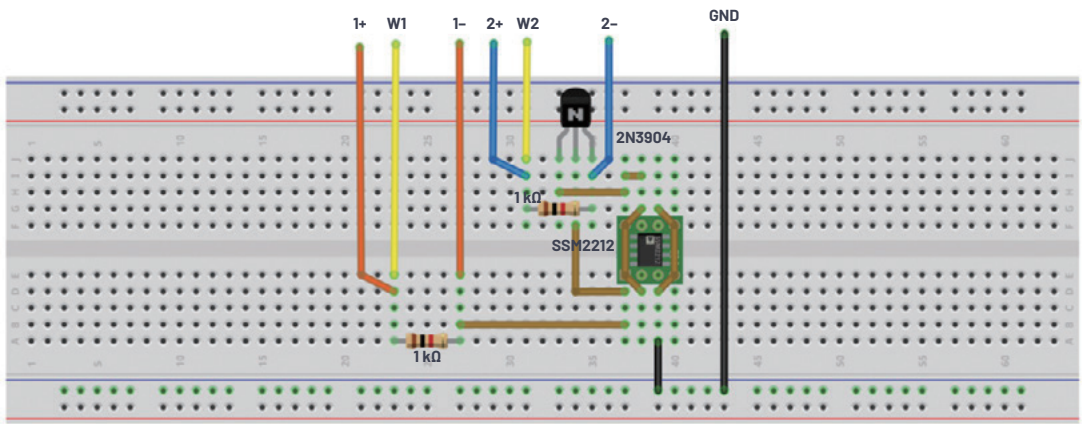

图11. 威尔逊电流镜的面包板连接。

维德拉电流镜

如图13所示，将简单的电流镜更改为维德拉电流镜。维德拉电流源在基本的双晶体管电流镜的基础上做了改进，包含仅用于输出晶体管的发射极负反馈电阻，使电流源仅使用中等电阻值就能产生低电流。维德拉电路可与双极性晶体管或MOS晶体管一起使用。

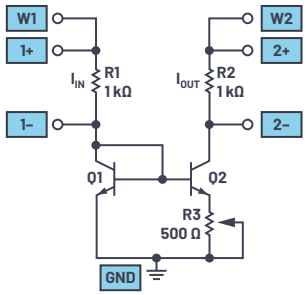

图13. 维德拉电流镜。

硬件设置

加载适用于信号发生器的W2通道的stairstep.csv文件，将幅度设置为3 V峰峰值，偏置设置为1.5 V。输出器件Q2的V_{CE}由示波器输入1+和1-进行差分测量。电流镜输出电流通过1 kΩ电阻R2两端的示波器输入2+和2-测量。集电极电压使用来自AWG1（输出W1）、频率为40 Hz的三角波形进行扫描。

程序步骤

配置示波器以捕获多个周期的输入信号和输出信号。

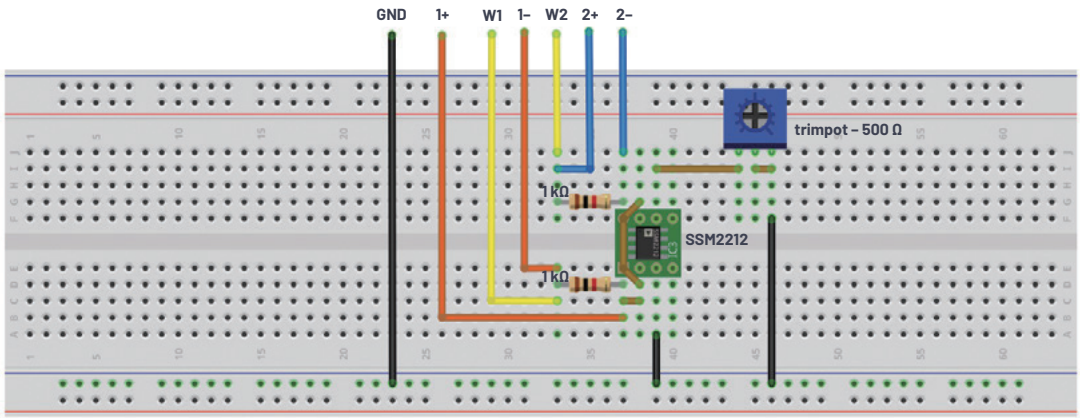

图14. 维德拉电流镜的面包板连接。

使用Scopy工具提供的示波器或通过LTspice仿真绘制这两个波形。Scopy波形图示例如图15所示。

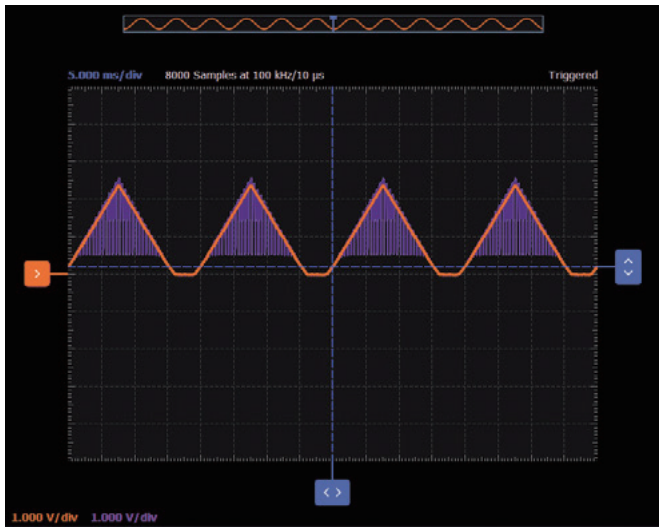

图15. 如Scopy绘图所示，W2为10 kHz频率时的维德拉电流镜波形。

问题：

- 您能说出带基极电流补偿的电流镜电路的一个优点和一个缺点吗？
- 您能说出威尔逊电流镜的一个优点和一个缺点吗？

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。

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。

ANALOG DEVICES
超 越 一 切 可 能 ™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。
请访问ez.analog.com/cn。

©2020 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

请访问analog.com/cn