

ADALM2000实验： 数模转换

Andreea Pop, 系统设计/架构工程师
Antoniu Miclaus, 系统应用工程师
Doug Mercer, 顾问研究员

R-2R梯形电阻数模转换器(DAC)

目标

本实验的目标是探讨数模转换的概念，将CMOS反相器用作梯形电阻分压器的基准开关（用于DAC中）。

背景信息

我们将简单的CMOS反相器逻辑门用作一对开关。ADALM2000模块的数字I/O信号可配置为具有+3.3 V电源电压的标准CMOS分压器（推挽模式）。采用最简单的形式，CMOS输出可以由一个PMOS器件M1和一个NMOS器件M2组成。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，使其各自的跨导和 R_{ON} 也相等。两个晶体管中，只有一个处于导通状态，同时将输出端连接到 V_{DD} 或 V_{SS} 。我们可以考虑将这两个电压用作DAC的基准电压源。

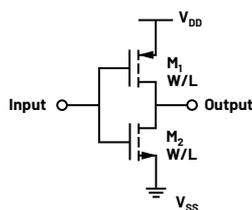


图1. CMOS输出驱动器。

在“电压模式”中使用R-2R梯形电阻（如图2所示），根据数字码交替驱动到两个基准电压电平中的任一个(D0-7)。数字0表示 V_{REF-} ，数字1表示 V_{REF+} 。根据数字输入码， V_{LADDER} （图2）将在两个基准电平之间变化。两个基准电压的负基准电压(V_{REF-})通常为地电压(V_{SS})。在本例中，我们将正基准电压(V_{REF+})设置为CMOS驱动器的正电源电压(V_{DD})。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 9个20 kΩ电阻
- ▶ 9个10 kΩ电阻
- ▶ 1个OP27放大器

说明

最好在无焊试验板上构建图2所示的8位梯形电阻电路。模拟部件套件(ADALP2000)中提供的电阻数量通常不足以构建完整的8位梯形电阻。如果可以获得这些电阻，此项目最好使用1%的电阻。

将用蓝色框表示的8个数字输出、示波器通道和用绿色框表示的AWG输出连接到梯形电阻电路中，如图所示。注意将电源连接到运算放大器电源引脚。

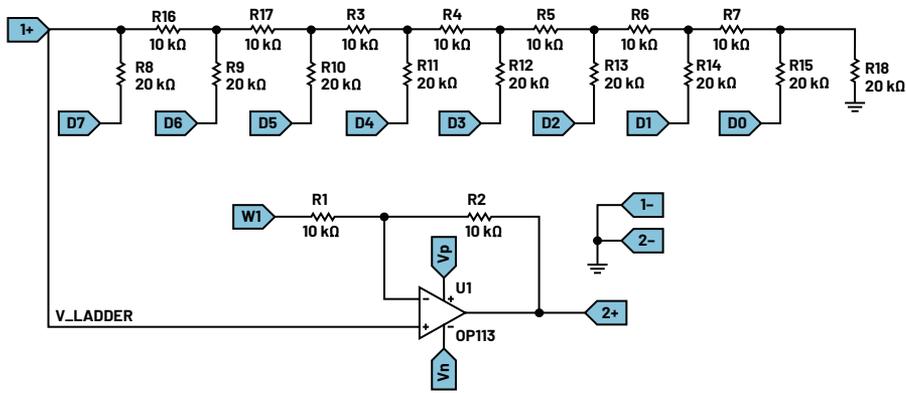


图2. R-2R梯形电阻网络电路

硬件设置

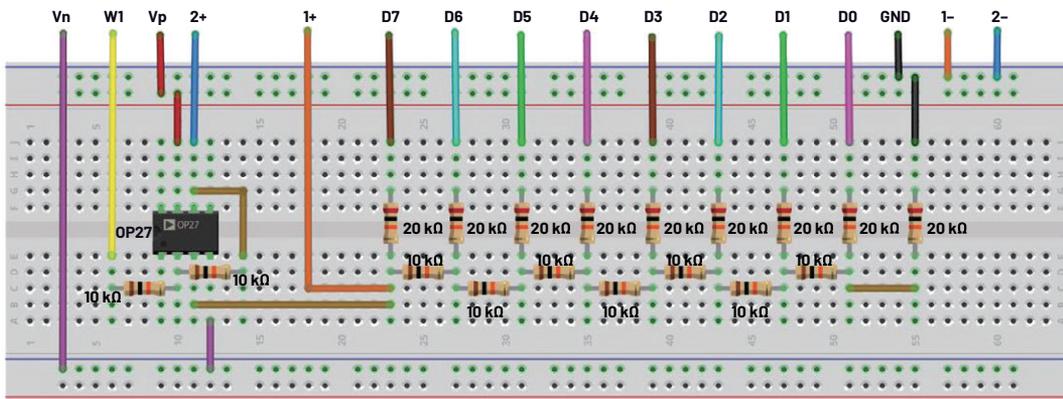


图3. R-2R梯形电阻网络电路试验板连接

程序步骤

当安装R1和R2时，设置AWG1的直流电压与DAC的 V_{REF+} 相等，即等于CMOS数字输出的3.3 V电源电压。此时输出电压为双极性，其摆幅为-3.3 V至+3.3 V。断开AWG1并移除电阻R1，输出电压为单极性，摆幅为0 V至+3.3 V。启动Scopy软件。打开**模式发生器**界面。选择DI00至DI07，并组成一个分组。设置参数，将模式设置为**二进制计数器**。输出设置为推挽输出（PP），频率设置为256 kHz。此时能看到类似图4所示的内容。最后，点击**运行**按钮。

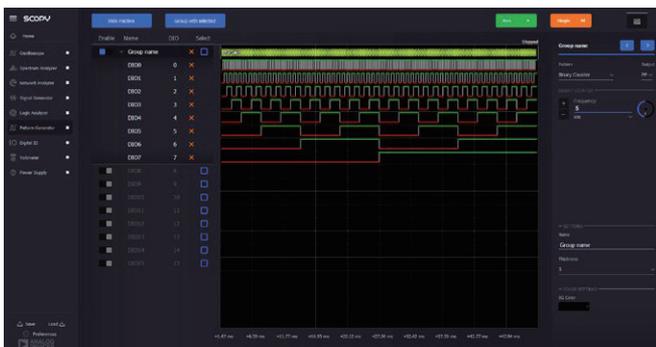


图4. 模式发生器界面。

打开**示波器**界面，开启通道2，并将时基设置为200 μ s/div，点击绿色**运行**按钮开始运行。有时可能还需要调整通道的垂直范围

（初始条件下，1 V/div比较合适）。通过示波器界面能看到（如图4所示）电压从0 V上升到3.3 V，斜坡信号的周期应为1 ms。



图5. 示波器界面。

改变数字模式。尝试**随机**模式，并打开示波器上的FFT窗口。您还可以通过生成具有一列0到255（对于8位宽总线）数字的纯文本.csv文件，来加载自定义模式。加载自定义模式，看看会出现什么情况。

您可以尝试加载以下这些预制波形文件：正弦、三角、高斯脉冲等：[waveforms_pg](#)。

AD5626 12位nanoDAC

背景信息

AD5626是一款可以使用5 V单电源供电的电压输出DAC。它集成了DAC、输入移位寄存器和锁存、基准电压源以及一个轨到轨输出放大器。输出放大器摆幅可达到任一供电轨，且设置范围为0 V至4.095 V，分辨率为每位1 mV。该器件采用高速、三线式、兼容数据输入(SDIN)的DSP、时钟(SCLK)和负载选通(LDAC)的串线接口。它还有芯片选择引脚，可连接多个DAC。上电时或用户要求时，CLR输入可将输出设置为零电平。

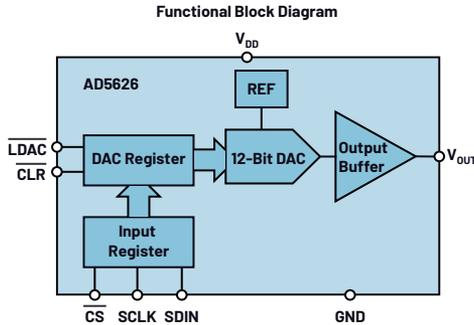


图6. AD5626的简化功能框图。

除1位DAC寄存器外，AD5626还有一个独立的串行输入寄存器，新数据值可以预载到该串行寄存器中，而不会干扰现有DAC输出电压。通过选通LDAC引脚，可以将加载值传输到DAC寄存器。

单极性输出操作

这种操作模式是AD5626的基本模式。您可以根据DAC的单极性代码表验证AD5626的功能是否正常。

表1. AD5626的单极性代码表

DAC寄存器中的十六进制数	DAC寄存器中的十进制数	模拟输出电压(V)
FFF	4095	4.095
801	2049	2.049
800	2048	2.048
7FF	2047	2.047
000	0	0

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 一个AD5626 12位nanoDAC®
- ▶ 一个2.2 kΩ电阻
- ▶ 一个0.001 μF电容
- ▶ 一个0.1 μF电容
- ▶ 一个10 μF电容

硬件设置

如图7所示连接AD5626的引脚。

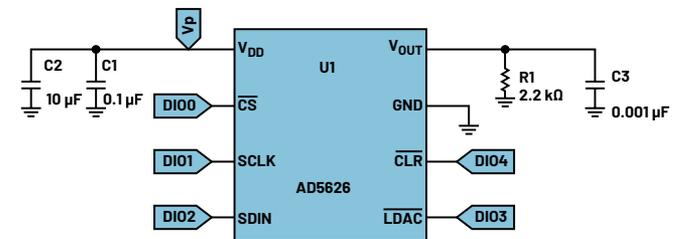


图7. AD5626实现单极性操作的连接。

程序步骤

打开Scopy，使能正电源为5 V。在**模式发生器**中，根据数据手册中AD5626的时序图配置DAC输入信号。从配置SPI信号开始。使用DIO0、DIO1和DIO2创建通道组。如果连接如图7所示，则DIO1表示时钟信号，DIO2表示数据信号，DIO0表示 \overline{CS} 信号。在进行SPI分组时，确保数字通道的顺序是正确的（参见图10）。数据手册中指明，高电平和低电平状态下的时钟宽度应达到至少30 ns。由此可计算时钟周期，进而计算最大频率。将时钟频率设为1 MHz。将**CLK极性**和**CLK相位**设为1。

由于AD5626是12位DAC，因此通过SPI发送的数据长度应至少为12位。将每帧的字节数设为2，在转换开始时，它会发送16位。在**数据文本框**中，您可以输入将发送至DAC的值。SPI组通道的信号应类似于AD5626 DAC的时序图。

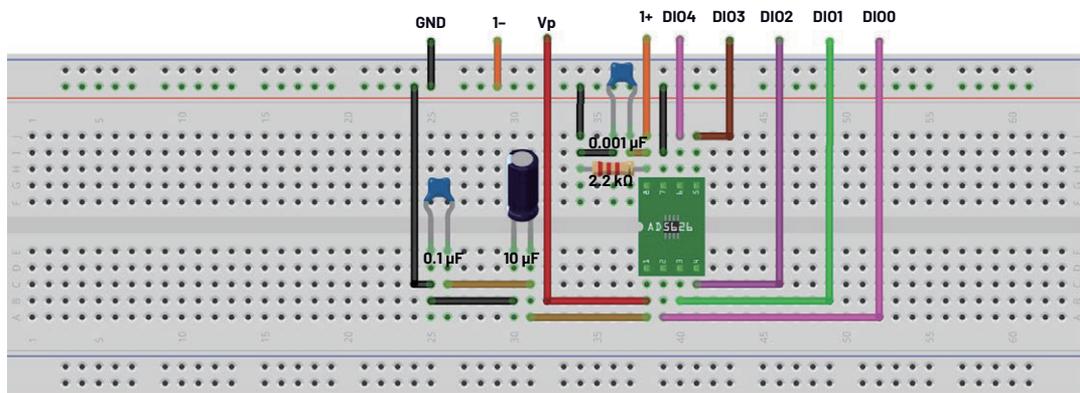


图8. AD5626试验板连接。

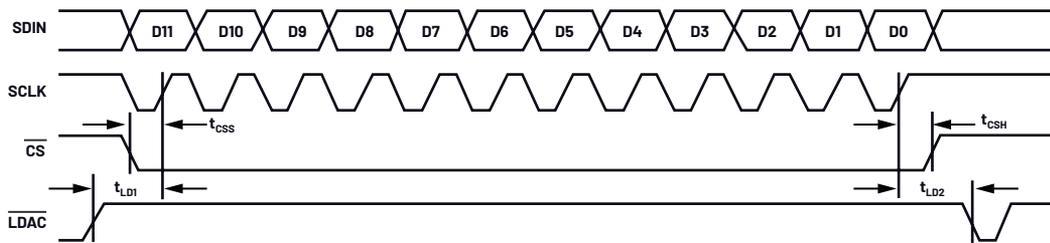


图9. AD5626 SPI时序图。

现在，您应该配置LDAC和CLR信号。从数据手册中，我们得知在CLR处于高电平时，移位寄存器的内容会在LDAC的上升沿更新。将DIO4 (CLR)的模式设置为“数值”，输入数值1。只要位是串行传输，LDAC信号(DIO3)的CS下降沿之前应该有一个上升沿，且应处于高电平。为了满足上述条件，DIO3信号可以设置为采用13 kHz频率和160°相位。AD5626数模转换所需的所有输入信号如图9所示。

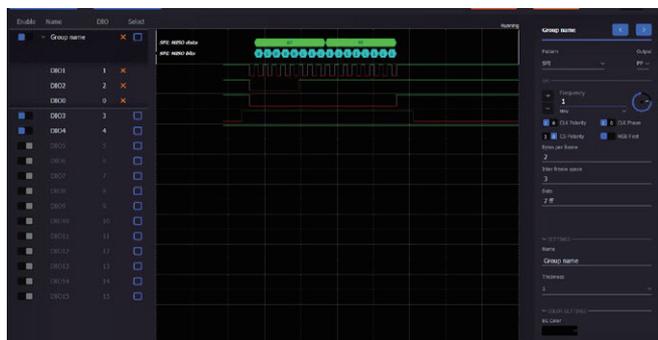


图10. 模式发生器信号设置。

最后一步是在Scopy中打开示波器，将通道1连接到AD5626的输出端。启用通道1测量，并在SPI的“数据”区域输入一个值。如果通过SPI发送的数据为7FF，在图11中，您可以查看相应的输出电压。

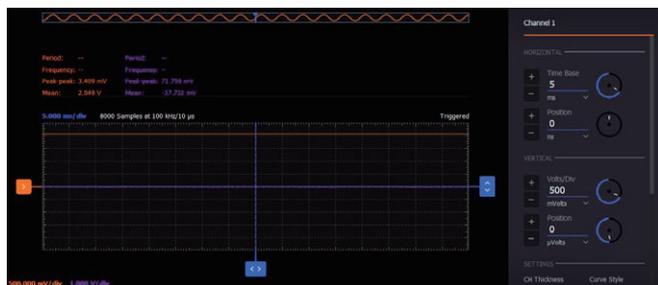


图11. 输入为7FF时，AD5626的输出电压。

双极性输出操作

虽然AD5626设计用于单电源操作，但使用图12所示的电路也可以实现双极性操作。

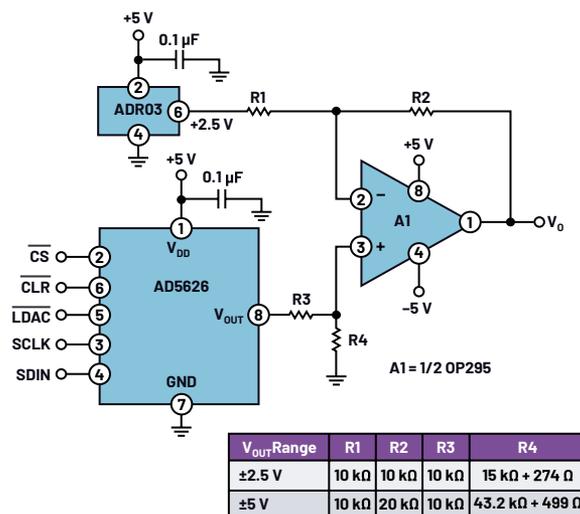


图12. 双极性输出操作，未经调节（数据手册中建议的电路）。

此电路可用于不需要高精度的应用。输出电压以偏移二进制格式编码，由以下公式给出：

$$V_O = 1 \text{ mV} \times \text{Digital Code} \times \left(\frac{R4}{R3 + R4} \right) \times \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) - 2.5 \times \left(\frac{R2}{R1} \right)$$

在输出范围为±5 V，采用图12中的表所示的电路值时，转换公式变为：

$$V_O = 2.44 \text{ mV} \times \text{Digital Code} - 5 \text{ V}$$

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 跳线
- ▶ 一个AD5626 12位nanoDAC
- ▶ 一个OP484运算放大器
- ▶ 一个0.1 μF电容
- ▶ 一个1 kΩ电阻
- ▶ 一个20 kΩ电阻
- ▶ 两个10 kΩ电阻
- ▶ 一个47 kΩ电阻
- ▶ 一个470 kΩ电阻

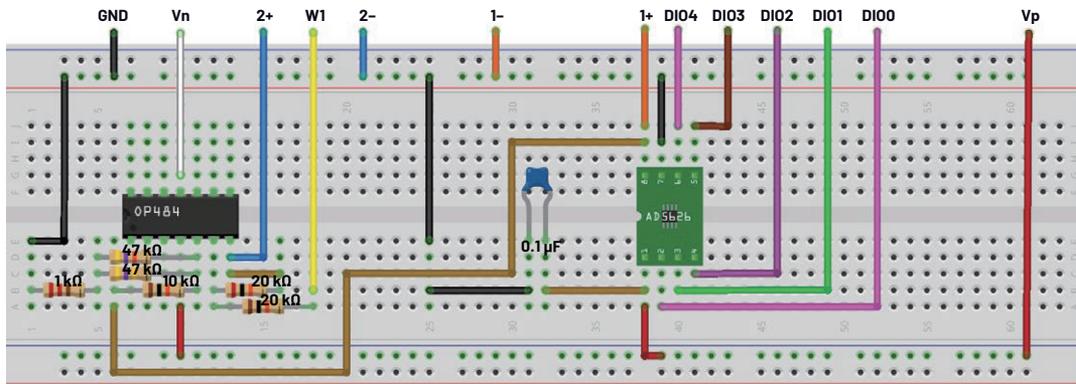


图13. AD5626双极性输出操作试验板连接

硬件设置

在无焊试验板上构建图12所示的电路。

程序步骤

您可以将DAC配置为单极性输出操作，如图7所示。对于基准电压，使用信号发生器的通道1，设置为恒定2.5 V。在示波器的第二个通道上，可显示运算放大器输出端的电压。您可以在示波器上同时显示单极性操作和双极性操作的电压。



图16. FFF输入的单极性和双极性输出电压。



图14. 000输入的单极性和双极性输出电压。



图15. 800输入的单极性和双极性输出电压。

问题:

1. 使用欧姆定律和并联电阻公式，当输入D7和D6连接到接地和3.3 V的每个组合时，R-2R DAC的输出电压是多少？请将结果以表格形式呈现。

您可以在[学子专区论坛](#)上找到答案。



作者简介

Andreea Pop自2019年起担任ADI公司的系统设计/架构工程师。她毕业于克卢日-纳波卡理工大学，获电子与通信学士学位和集成电路与系统硕士学位。联系方式：andreea.pop@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。



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。

