

连接/参考器件

AD9834	75 MHz完整低功耗DDS
AD8014	400 MHz低功耗、高性能放大器

低功耗DDS波形发生器

评估和设计支持

电路评估板

CN0304评估板(EVAL-CN0304-SDZ)

SDP-B评估板(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件、物料清单

电路功能与优势

图1所示电路为一款75 MHz低功耗(合计25 mW)直接数字频率合成(DDS)波形发生器。输出缓冲器和抗镜像滤波器提供更好的频谱性能, 适合要求最高18 MHz的正弦波、三角

波和方波输出的频率生成或时钟应用。

由于低功耗DDS器件属于采样数据器件, 因此, 其后必须采用合适的抗镜像滤波器以消除频谱镜像。然而, 在建议的200 Ω 负载下, 最大电流输出大约为4 mA; 因此, 在DDS输出端设置一个优化的低功耗、低失真运算放大器缓冲器, 可以为高品质50 Ω 滤波器提供低阻抗驱动源。

DDS、输出缓冲器和七阶椭圆低通滤波器的组合可带来高品质的频谱性能。

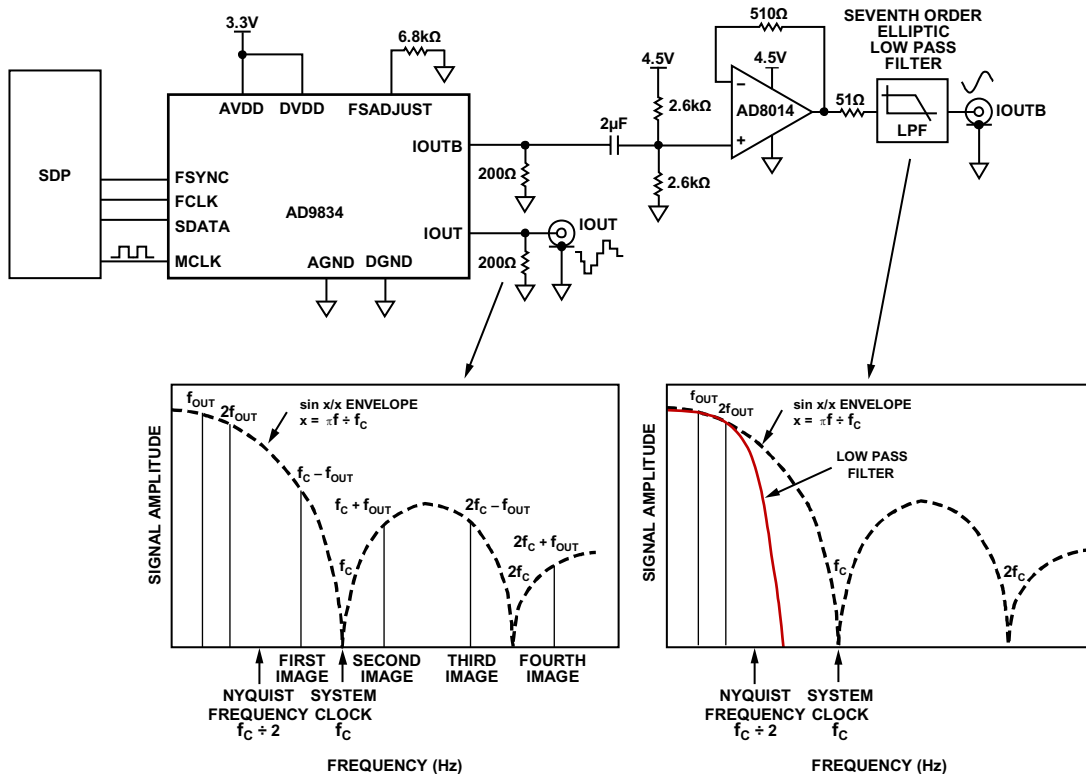


图1. 低功耗波形发生器(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

12064-001

Rev. 0

Circuits from the Lab[®] reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

电路描述

AD9834是一款75 MHz完整的低功耗(20 mW) DDS，旨在提供最高4 mA的真正的互补电流输出，输出频率最高为37.5 MHz。

AD8014是一款高速电流反馈放大器，频率为400 MHz，带宽为-3 dB，压摆率为4000 V/ μ s，建立时间为24 ns。该器件具有超低电压噪声和电流噪声、低失真等特点。低功耗(5.2 mW @ +4.5 V)、低成本和30 mA电流驱动能力，这使得AD8014成为AD9834输出的一种颇具吸引力的缓冲器解决方案。对于AD9834，电路工作电压为+3.3 V，AD8014为+4.5 V。DDS采用SPI接口。该电路由三个模块组成：DDS模块、缓冲器模块和低通滤波器模块。电路总功耗约为25 mW。

DDS电压输出

满量程调整(FSADJUST)电压和外部电阻 R_{SET} 决定满量程DAC电流的幅度。FSADJUST的标称值为1.15 V， R_{SET} 电阻的典型值为6.8 k Ω 。

AD9834的满量程电流如下：

$$I_{FULLSCALE} = 18 \times (\text{FSADJUST}/R_{SET})$$

该电路采用200 Ω 的额定负载和最大满量程电流，以实现所需电压输出而不超过DAC的顺从范围。

$$I_{FULLSCALE} = 18 \times (1.15/6800 \Omega) = 3 \text{ mA},$$

$$V_{OUT} = 3 \text{ mA} \times 200 \Omega = 0.6 \text{ V}$$

板载两个电流输出：IOUT和IOUTB。IOUT未经滤波，IOUTB经过滤波。

缓冲放大器

由于DDS输出端的电流和电压顺从范围有限，因而需要一个缓冲器向低通滤波器提供较高的电流驱动能力。另外，缓冲器提供了DDS模块与滤波器模块之间的隔离，并将载入的DDS的200 Ω 输出阻抗转换成驱动端接滤波器所需的50 Ω 。在本电路笔记中，低功耗高性能电流反馈运算放大器AD8014用作AD9834的输出缓冲器。其输出驱动电流大于等于 ≥ 30 mA。AD8014电流反馈运算放大器中的反馈电阻设定运算放大器的带宽。AD8014是一种高速电流反馈放大器，频率为400 MHz，带宽为-3 dB，压摆率为4000 V/ μ s，建立时间为24 ns。

图2所示为510 Ω 的反馈电阻。由于运算放大器采用单极性电源供电，因此，输出需要以电源电压中间值为中心，以防止发生削波。A点处的分压器为正弦信号提供2.25 V的直流失调电压，得到 $2.25 \text{ V} \pm 0.3 \text{ V}$ 的输出摆幅。有关单电源应用中运算放大器的正确偏置问题，请参阅应用笔记AN-581“单电源应用中的偏置和去耦运算放大器”。有关电流反馈

放大器的更多信息，请参阅指南MT-034，[电流反馈\(CFB\)运算放大器](#)。

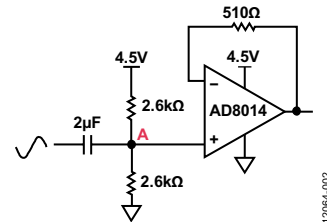


图2. AD8014输入和反馈连接

七阶椭圆低通滤波器

抗镜像重构必须对采样系统内在的镜像频率进行衰减处理，如图1所示。

有四种基本滤波器可以用作重构滤波器：考尔(椭圆)、切比雪夫、巴特沃兹和贝塞尔。图3展示了这四种基本滤波器的响应曲线。

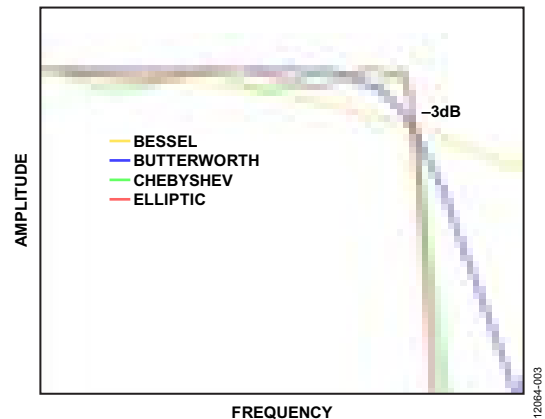


图3. 四种基本滤波器的响应曲线

在阶数相同的情况下，椭圆滤波器的滚降率比其他三种滤波器高，这使其成为重构滤波器的不错选择。本电路笔记中使用的滤波器是一款7阶椭圆滤波器，-3 dB带宽为18 MHz。

器件选择

用于实现滤波器的电阻、电容和电感均为无源器件，并且受高频影响，都必须符合以下要求：

- 低寄生电容和电感。
- 低容差值，以使实测响应接近设计响应。
- 宽温度范围。
- 小尺寸，以最大限度减少寄生电容和电感。

这些只是确保实测滤波器响应接近仿真滤波器响应的一些标准。

有关如何针对具体应用选择无源器件的更多信息，请参阅[基本线性设计：第10章“无源器件”](#)。

滤波器设计与性能

七阶椭圆滤波器如图4所示，滤波器的仿真和实际频率响应如图5所示。使用的软件是Advances Design System (ADS)，版本为2012.08。实际滤波器件和制造商可在CN0304设计支持包中的物料清单中找到：

<http://www.analog.com/CN0304-DesignSupport>。

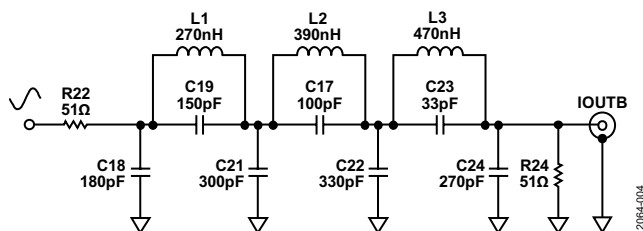


图4. 七阶并联连接低通滤波器

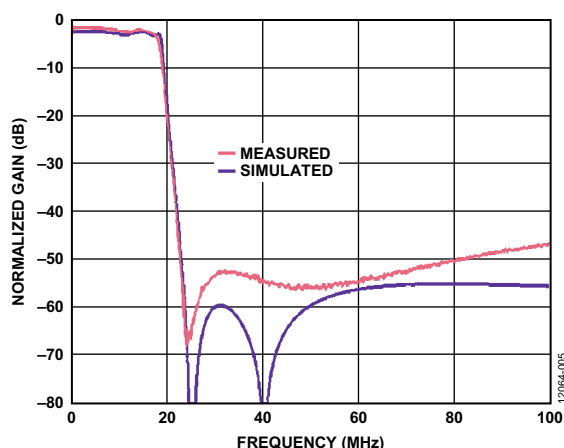


图5. 七阶椭圆滤波器的仿真和实测频率响应

实测滤波器响应是用Agilent E5061B网络分析仪得到的。结果显示，-3 dB带宽为18 MHz。受源和负载端接影响，通带衰减约为6 dB。

为了检查电路的性能，DDS性能测试时，将AD9834的输出频率设为15 MHz，时钟为75 MSPS。未滤波输出和滤波输出分别如图6和图7所示。

如图7所示，图6未滤波频谱中出现的干扰镜像显著减少。相对于未滤波输出，60 MHz下的最高镜像杂散被抑制了大约52 dB。这相当于滤波器在60 MHz下的实测衰减。

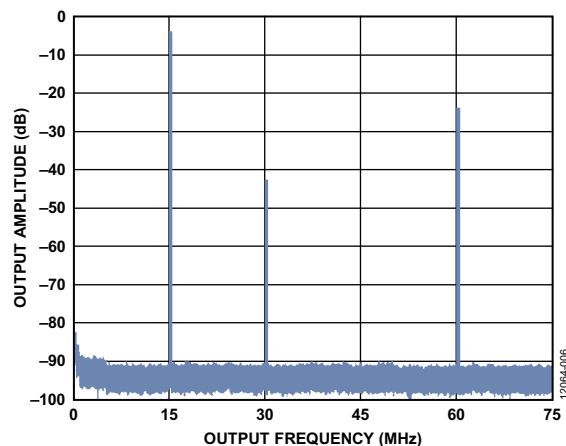


图6. AD9834的未滤波输出(15 MHz, 在IOUT下测得)

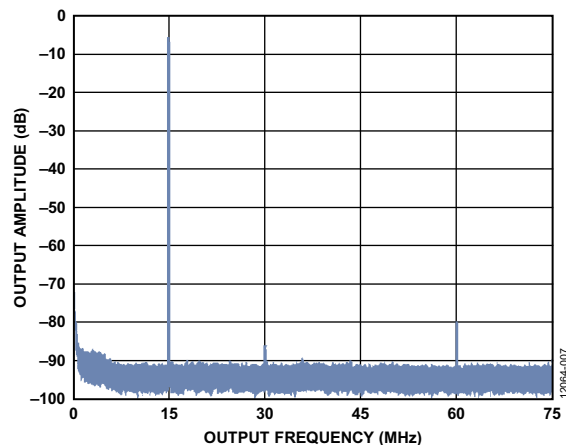


图7. AD9834的滤波输出(15 MHz, 在IOUTB下测得)

滤波器使AD9834的600 mV p-p输出衰减约6 dB，正弦x/x滚降使其再衰减1 dB。因此，进入50 Ω负载的输出约为268 mV p-p，或94.7 mV rms。这相当于0.179 mW或-7.5 dBm。

有关DDS重构滤波器设计的更多信息，请参阅应用笔记AN-837，基于DDS的时钟抖动性能与DAC重构滤波器性能的关系。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术(请参考指南MT-031，实现数据转换器的接地并解开“AGND”和“DGND”的谜团以及指南MT-101，去耦技术)。

包括原理图、电路板布局和物料清单在内的完整设计支持包可在以下网址找到：

<http://www.analog.com/CN0304-DesignSupport>。

常见变化

DDS的一种替代方案是AD9838。该器件具有功耗低的特点(11 mW)，功能与AD9834相同，但时钟速率较低，为16 MHz。

本电路笔记中使用的缓冲器是电流反馈放大器AD8014。这种方案的一种替代方案是ADA4860-1。该器件是一款低成本、高速(800 MHz, -3 dB带宽)、低功耗(22.5 mW @ 5 V)电流反馈运算放大器，但其压摆率较低，为790 V/ μ s。

缓冲器也可使用电压反馈(VFB)放大器。VFB放大器的优势是噪声低，而且在选择反馈器件方面具有更大的自由度。AD8057是一款电压反馈放大器，其带宽和压摆率与常见的电流反馈放大器相当。其频率为325 MHz，带宽为-3 dB，增益平坦度为0.1 dB至28 MHz，压摆率为1000 V/ μ s。

另一种替代方案是ADA4897-1。这是一款单位增益稳定、低宽带噪声、轨到轨输出高速电压反馈放大器，其输入电压噪声为2.4 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (10 Hz)，无杂散动态范围(SFDR)为-80 dBc(2 MHz)。

ADA4851-1也可用作缓冲器。这是一款低成本、低功耗、高速(-3 dB带宽: 130 MHz)器件，但其压摆率要低得多，为375 V/ μ s。

电路评估与测试

设备要求

- EVAL-CN0304-SDZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z评估板
- AD9834评估软件
- Agilent E3631A三路输出直流电源(或等效设备)
- Rohde和Schwarz FSUP50信号源分析仪
- Agilent E5061B网络分析仪(仅在评估滤波器响应时需要)

滤波器响应测量

用一台网络分析仪测量滤波器的频率响应，所用设置如图8所示。

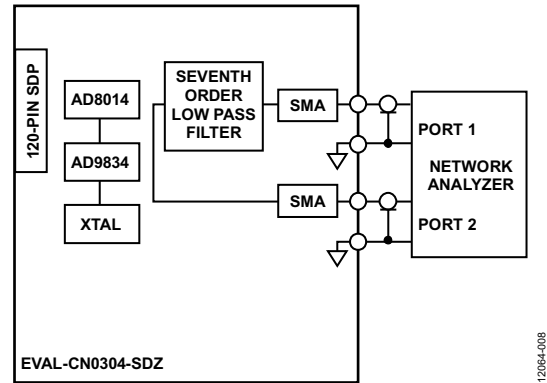


图8. 用于测量滤波器响应的测试设置

对EVAL-CN0304-SDZ评估板进行了改装，将来自网络分析仪的信号施加到滤波器的输入端。滤波器的输出连接至分析仪的第二个端口上。

输出波形测量

DDS的输出波形用图9所示设置进行测量。

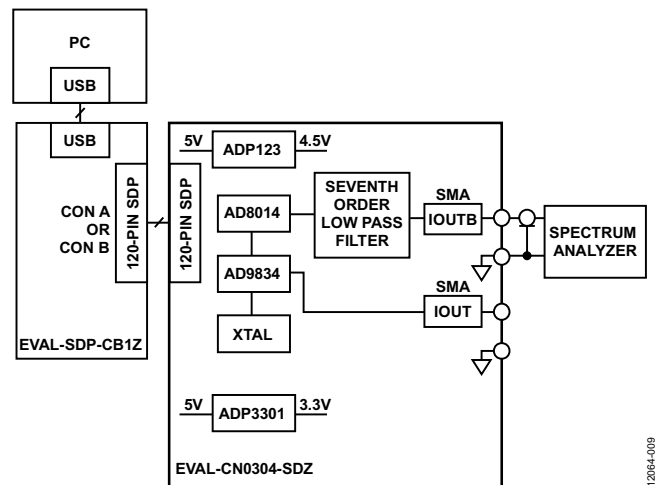


图9. DDS输出的测试系统功能框图

EVAL-CN0304-SDZ的5 V电源来自SDP卡的5 V USB电压。按照如下方式设置跳线：LK1位于B位，LK2位于B位，移除LK3。

UG-266中描述的硬件并没有7阶输出滤波器；但图形用户界面和软件运行情况与EVAL-CN0304-SDZ硬件完全相同。

用AD9834评估软件(位于：<ftp://ftp.analog.com/pub/evalcd/AD9834/>)设置DDS的输出频率和幅度。详见AD9834评估板用户指南UG-266。

CN0304印刷电路板照片如图10所示。



图10. EVAL-CN0304-SDZ评估板的照片

了解详情

CN0304 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0304-DesignSupport>.

ADIsimDDS Design and Evaluation Tool.

UG-266 User Guide, *Evaluating the AD9834 20 mW Power, 2.3 V to 5.5 V, 75 MHz Complete DDS*. Analog Devices, Inc., 2011.

Kester, Walt. Chapter 3, Chapter 7, and Chapter 8, *The Data Conversion Handbook*. Analog Devices, Inc., 2005.

MT-015 Tutorial, *Basic DAC Architectures II: Binary DACs*. Analog Devices, Inc.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of AGND and DGND*. Analog Devices, Inc.

MT-034 Tutorial, *Current Feedback (CFB) Op Amps*. Analog Devices, Inc.

MT-085 Tutorial, *Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS)*. Analog Devices, Inc.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*. Analog Devices, Inc.

David Brandon and Ken Gentile. AN-837 Application Note, *DDS-Based Clock Jitter Performance vs. DAC Reconstruction Filter Performance*. Analog Devices, Inc.

Riordan, Liam. AN-1070 Application Note, *Programming the AD9833/AD9834*. Analog Devices, Inc.

数据手册和评估板

AD9834 Data Sheet.

AD8014 Data Sheet.

修订历史

2014年4月—修订版0：初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN12064sc-0-4/14(0)

